

# MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

## SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECAÑICOS

17



# MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO

## SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECAÓNICOS

COMISIÓÓ NACIONAL DEL AGUA



Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento  
Selección de Equipo y Materiales Electromecánicos

ISBN: 978-607-626-025-8

D.R. © Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209 Col. Jardines en la Montaña  
C.P. 14210, Tlalpan, México, D.F.

Comisión Nacional del Agua  
Insurgentes Sur No. 2416 Col. Copilco El Bajo  
C.P. 04340, Coyoacán, México, D.F.  
Tel. (55) 5174•4000

Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento

Impreso y hecho en México  
Distribución gratuita. Prohibida su venta.  
Queda prohibido su uso para fines distintos al desarrollo social.  
Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,  
sin fines de lucro y citando la fuente

# CONTENIDO

|                                                                           |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------|
| Presentación                                                              | IX   |
| Objetivo general                                                          | XI   |
| Antecedentes                                                              | XIII |
| <br>                                                                      |      |
| 1. Instrumentos de gestión                                                | 1    |
| 1.1. Marco jurídico                                                       | 2    |
| 1.2. Marco normativo                                                      | 2    |
| 2. Equipo eléctrico                                                       | 5    |
| 2.1. Introducción                                                         | 5    |
| 2.2. Motores                                                              | 5    |
| 2.2.1. Tensión                                                            | 5    |
| 2.2.2. Potencia                                                           | 6    |
| 2.2.3. Eficiencia de motores de corriente alterna trifásicos de inducción | 12   |
| 2.2.4. Enclaustramiento                                                   | 13   |
| 2.2.5. Clase de aislamiento                                               | 15   |
| 2.2.6. Velocidad síncrona                                                 | 16   |
| 2.2.7. Factor de servicio                                                 | 16   |
| 2.2.8. Condiciones atmosféricas                                           | 17   |
| 2.3. Tipo de subestación                                                  | 56   |
| 2.3.1. Condiciones de los locales y espacios.                             | 56   |
| 2.3.2. Subestaciones abiertas                                             | 58   |
| 2.3.3. Subestación intemperie en poste o marco de postes                  | 58   |
| 2.3.4. Subestación intemperie en marco de estructura metálica             | 60   |
| 2.3.5. Subestación intemperie en cuadro de estructura metálica            | 60   |
| 2.3.6. Subestaciones compactas                                            | 60   |
| 2.3.7. Subestación blindada en gas SF <sub>6</sub>                        | 60   |
| 2.3.8. Subestaciones unitarias                                            | 76   |
| 2.4. Transformadores de distribución y potencia                           | 80   |
| 2.4.1. Tipo de alimentación                                               | 80   |
| 2.4.2. Capacidad                                                          | 80   |
| 2.4.3. Nivel básico de aislamiento                                        | 83   |
| 2.4.4. Clase de enfriamiento                                              | 83   |
| 2.4.5. Condiciones atmosféricas                                           | 83   |
| 2.4.6. Características de operación                                       | 84   |

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.5. Interruptores                                                | 95  |
| 2.5.1. Corriente nominal                                          | 95  |
| 2.5.2. Corrientes interruptivas de corto circuito                 | 97  |
| 2.5.3. Tensión nominal                                            | 98  |
| 2.5.4. Tensión máxima                                             | 98  |
| 2.5.5. Tensión de control                                         | 98  |
| 2.5.6. Marco                                                      | 98  |
| 2.5.7. Banda de tiempo                                            | 98  |
| 2.5.8. Secuencias de operación                                    | 99  |
| 2.5.9. Condiciones de operación                                   | 99  |
| 2.5.10. Condiciones atmosféricas                                  | 102 |
| 2.6. Coordinación de aislamiento                                  | 107 |
| 2.6.1. Tensión y sobretensiones                                   | 107 |
| 2.6.2. Tensión de aguante de coordinación                         | 107 |
| 2.6.3. Nivel de aislamiento                                       | 107 |
| 2.6.4. Tensión máxima de los equipos                              | 108 |
| 2.6.5. Condiciones atmosféricas                                   | 108 |
| 2.7. Aisladores tipo suspensión de porcelana o de vidrio templado | 112 |
| 2.7.1. Clasificación                                              | 112 |
| 2.7.2. Designación                                                | 112 |
| 2.7.3. Características eléctricas, mecánicas y dimensionales      | 112 |
| 2.8. Cuchillas seccionadoras en aire                              | 116 |
| 2.8.1. Características                                            | 116 |
| 2.8.2. Tensión                                                    | 116 |
| 2.8.3. Corriente                                                  | 117 |
| 2.8.4. Nivel básico al impulso                                    | 117 |
| 2.8.5. Características operativas                                 | 118 |
| 2.8.6. Recomendaciones                                            | 118 |
| 2.8.7. Tipos de cuchillas                                         | 120 |
| 2.8.8. Cuchilla de doble apertura lateral central (TTT-7)         | 121 |
| 2.8.9. Condiciones atmosféricas                                   | 121 |
| 2.9. Selección de tableros                                        | 122 |
| 2.9.1. Características                                            | 122 |
| 2.9.2. Tensión nominal                                            | 130 |
| 2.9.3. Características normativas                                 | 130 |
| 2.9.4. Tensión de impulso y sostenida                             | 130 |
| 2.9.5. Corriente                                                  | 131 |
| 2.9.6. Grados de protección                                       | 132 |
| 2.9.7. Características de operación                               | 132 |
| 2.9.8. Condiciones Atmosféricas                                   | 140 |
| 2.9.9. Tableros de transferencia                                  | 142 |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 2.9.10. Variadores e inversores                           | 143 |
| 2.10. Selección de Conductores                            | 143 |
| 2.10.1. Tensión y ampacidad a temperatura nominal         | 158 |
| 2.10.2. Nivel de aislamiento                              | 158 |
| 2.10.3. Materiales                                        | 160 |
| 2.10.4. Resistencia eléctrica                             | 161 |
| 2.10.5. Aislamientos                                      | 164 |
| 2.10.6. Tamaño o designación                              | 165 |
| 2.10.7. Aplicación                                        | 165 |
| 2.11. Transformadores de instrumentos                     | 189 |
| 2.11.1. Tensión                                           | 190 |
| 2.11.2. Corriente                                         | 191 |
| 2.11.3. Relación de transformación                        | 191 |
| 2.11.4. Clase de Precisión                                | 192 |
| 2.11.5. Carga                                             | 193 |
| 2.11.6. Características de operación                      | 197 |
| 2.11.7. Condiciones atmosféricas                          | 198 |
| 2.12. Apartarrayos de óxido metálico                      | 209 |
| 2.12.1. Clase                                             | 209 |
| 2.12.2. Tensión nominal y máxima continua del sistema     | 209 |
| 2.12.3. Tensión nominal                                   | 209 |
| 2.12.4. Corriente de descarga nominal                     | 210 |
| 2.12.5. Tensión de aguante                                | 210 |
| 2.12.6. Aguante del aislamiento                           | 210 |
| 2.12.7. Aguante al impulso de corriente de larga duración | 210 |
| 2.12.8. Nivel de contaminación                            | 210 |
| 2.12.9. Condiciones de servicio                           | 210 |
| 2.12.10. Condiciones de operación                         | 212 |
| 2.13. Cortacircuitos fusible                              | 217 |
| 2.13.1. Tensión                                           | 217 |
| 2.13.2. Corriente                                         | 217 |
| 2.13.3. Nivel básico de aislamiento                       | 218 |
| 2.13.4. Corriente interruptiva                            | 218 |
| 2.13.5. Condiciones de operación                          | 218 |
| 2.13.6. Condiciones atmosféricas                          | 219 |
| 2.13.7. Recomendaciones                                   | 219 |
| 2.14. Bancos y cargadores de baterías                     | 227 |
| 2.14.1. Cargadores de baterías                            | 227 |
| 2.14.2. Banco de baterías                                 | 230 |
| 2.14.3. Condiciones ambientales y atmosféricas            | 231 |
| 2.14.4. Condiciones de operación                          | 231 |



|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| 2.15. Equipos auxiliares de control                | 235 |
| 2.15.1. Tipos de equipos o dispositivos            | 235 |
| 2.15.2. Clase                                      | 236 |
| 2.15.3. Características eléctricas                 | 236 |
| 2.15.4. Condiciones de operación                   | 238 |
| 2.15.5. Condiciones atmosféricas                   | 239 |
| 2.15.6. Recomendaciones                            | 240 |
| 2.16. Selección de arrancadores                    | 246 |
| 2.16.1. Tamaño                                     | 246 |
| 2.16.2. Capacidad interruptiva                     | 246 |
| 2.16.3. Fases                                      | 246 |
| 2.16.4. Tensión                                    | 248 |
| 2.16.5. Tipo de arranque                           | 248 |
| 2.16.6. Clase                                      | 249 |
| 2.16.7. Tipo de bloqueo                            | 250 |
| 2.16.8. Aplicación                                 | 250 |
| 2.16.9. Tipo de alambrado                          | 250 |
| 2.16.10. Condiciones atmosféricas                  | 251 |
| 2.16.11. Tipos de envolvente                       | 251 |
| 2.16.12. Condiciones operativas                    | 251 |
| 2.17. Lámparas de alta eficiencia                  | 257 |
| 2.17.1. Lámparas fluorescentes                     | 257 |
| 2.17.2. Lámparas de diodo emisor de luz (led)      | 257 |
| 2.17.3. Luminarias                                 | 258 |
| 3. Equipo mecánico                                 | 267 |
| 3.1. Bomba vertical rotodinámica                   | 267 |
| 3.1.1. Definición de bomba vertical rotodinámica   | 267 |
| 3.1.2. Flujo radial                                | 267 |
| 3.1.3. Flujo Axial                                 | 267 |
| 3.1.4. Flujo Mixto                                 | 267 |
| 3.1.5. Clasificación por configuración             | 267 |
| 3.2. Bombas rotodinámicas centrifugas              | 272 |
| 3.2.1. Definición de bomba rotodinámica centrifuga | 272 |
| 3.2.2. Tipos de bombas centrifugas                 | 272 |
| 3.2.3. Diagramas constitutivos                     | 275 |
| 3.2.4. Tamaño de una bomba rotodinámica centrifuga | 275 |
| 3.2.5. Bombas dimensionalmente intercambiables     | 275 |
| 3.2.6. Bombas idénticas                            | 275 |
| 3.2.7. Rotor descubierto y conjunto rotatorio      | 275 |
| 3.2.8. Posición de la carcasa                      | 277 |
| 3.2.9. Rotación de la flecha                       | 278 |

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3. Consideraciones generales                              | 279 |
| 3.3.1. Velocidad                                            | 279 |
| 3.3.2. Cargas                                               | 279 |
| 3.3.3. Punto óptimo de eficiencia de la bomba (BEP)         | 281 |
| 3.3.4. Condiciones de succión                               | 281 |
| 3.3.5. Potencia                                             | 282 |
| 3.3.6. Presiones de bombeo                                  | 283 |
| 3.3.7. Equilibrio del impulsor                              | 283 |
| 3.4. Velocidad específica y velocidad específica de succión | 284 |
| 3.4.1. Velocidad específica                                 | 284 |
| 3.4.2. Velocidad específica de succión                      | 284 |
| 3.5. Introducción a la clasificación de bombas              | 285 |
| 3.6. Rendimiento de la bomba, criterios de selección        | 285 |
| 3.6.1. Requisitos del sistema de bombeo                     | 285 |
| 3.6.2. Curvas del sistema contra curva de bomba             | 285 |
| 3.6.3. Transitorios hidráulicos                             | 286 |
| 3.6.4. Análisis de puesta en marcha y apagado               | 287 |
| 3.6.5. Curva velocidad - par de bomba y motor               | 288 |
| 3.6.6. Consideraciones para el NPSH marginal                | 293 |
| 3.6.7. Niveles de Ruido                                     | 293 |
| 3.6.8. Gasto mínimo                                         | 294 |
| 3.6.9. Nomenclatura de bombas centrifugas                   | 317 |
| 3.7. Válvulas                                               | 323 |
| 3.8. Tubería                                                | 324 |
| 3.8.1. Tubería de acero                                     | 324 |
| 3.8.2. Tubería plástica                                     | 325 |
| 3.9. Materiales                                             | 325 |
| 3.9.1. Corrosión y erosión en bombas de turbina vertical    | 325 |
| 3.9.2. Recubrimientos protectores                           | 328 |
| 3.9.3. Materiales para bombas verticales rotodinámicas      | 328 |
| 4. Selección de grúas                                       | 329 |
| 4.1. Introducción                                           | 329 |
| 4.2. Alcances                                               | 329 |
| 4.3. Definición y clasificación                             | 330 |
| 4.3.1. Grúas                                                | 330 |
| 4.3.2. Polipasto                                            | 330 |
| 4.4. Selección de grúas                                     | 330 |
| 4.4.1. Capacidad, claro e izaje                             | 331 |
| 4.4.2. Clasificación de grúas                               | 331 |
| 4.4.3. Velocidades de operación                             | 333 |
| 4.4.4. Equipamiento                                         | 333 |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5. Selección de Polipastos                                                | 334 |
| 4.5.1. Clase                                                                | 334 |
| 4.6. Selección de accesorios                                                | 335 |
| 4.6.1. Aparejo para todos los tipos                                         | 335 |
| 4.6.2. Gancho                                                               | 335 |
| 4.6.3. Cable                                                                | 335 |
| 4.6.4. Cadena                                                               | 335 |
| Conclusiones                                                                | 339 |
| Anexos                                                                      |     |
| A. Problemas                                                                | 341 |
| B. Listado de normas para selección de equipo y materiales electromecánicos | 347 |
| C. Glosario                                                                 | 351 |
| D. Notas aclaratorias                                                       | 367 |
| D. Bibliografía                                                             | 369 |
| Índice de ilustraciones                                                     | 371 |
| Índice de tablas                                                            | 375 |
| Índice alfabético                                                           | 382 |

# PRESENTACIÓN

Uno de los grandes desafíos hídricos que enfrentamos a nivel global es dotar de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento a la población, debido, por un lado, al crecimiento demográfico acelerado y por otro, a las dificultades técnicas, cada vez mayores, que conlleva hacerlo.

Contar con estos servicios en el hogar es un factor determinante en la calidad de vida y desarrollo integral de las familias. En México, la población beneficiada ha venido creciendo los últimos años; sin embargo, mientras más nos acercamos a la cobertura universal, la tarea se vuelve más compleja.

Por ello, para responder a las nuevas necesidades hídricas, la administración del Presidente de la República, Enrique Peña Nieto, está impulsando una transformación integral del sector, y como parte fundamental de esta estrategia, el fortalecimiento de los organismos operadores y prestadores de los servicios de agua potable, drenaje y saneamiento.

En este sentido, publicamos este manual: como una guía técnica especializada, que contiene los más recientes avances tecnológicos en obras hidráulicas y normas de calidad, con el fin de desarrollar infraestructura más eficiente, segura y sustentable, así como formar recursos humanos más capacitados y preparados.

Estamos seguros de que será de gran apoyo para orientar el quehacer cotidiano de los técnicos, especialistas y tomadores de decisiones, proporcionándoles criterios para generar ciclos virtuosos de gestión, disminuir los costos de operación, impulsar el intercambio de volúmenes de agua de primer uso por agua tratada en los procesos que así lo permitan, y realizar en general, un mejor aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas del país, considerando las necesidades de nueva infraestructura y el cuidado y mantenimiento de la existente.

El Gobierno de la República tiene el firme compromiso de sentar las bases de una cultura de la gestión integral del agua. Nuestros retos son grandes, pero más grande debe ser nuestra capacidad transformadora para contribuir desde el sector hídrico a **Mover a México.**

**Director General de la Comisión Nacional del Agua**



## OBJETIVO GENERAL

El Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) está dirigido a quienes diseñan, construyen, operan y administran los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento del país; busca ser una referencia sobre los criterios, procedimientos, normas, índices, parámetros y casos de éxito que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en su carácter de entidad normativa federal en materia de agua, considera recomendable utilizar, a efecto de homologarlos, para que el desarrollo, operación y administración de los sistemas se encaminen a elevar y mantener la eficiencia y la calidad de los servicios a la población.

Este trabajo favorece y orienta la toma de decisiones por parte de autoridades, profesionales, administradores y técnicos de los organismos operadores de agua de la República Mexicana y la labor de los centros de enseñanza.





## ANTECEDENTES

Para cumplir con su objetivo, el Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS) está estructurado en cinco módulos, los cuales están organizados de acuerdo a funciones específicas dentro del organismo operador. El Módulo tres *Proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento* incluye 32 libros de diseño para los distintos elementos que intervienen en el proceso de producción y distribución de agua potable, así como de la captación, desalojo y tratamiento de aguas residuales. Específicamente, dentro de este módulo el MAPAS ofrece cuatro libros enfocados al diseño, selección e instalación de los equipos electromecánicos, los cuales son:

- LIBRO 15. CÁLCULO, ESTUDIO Y DISEÑO DE INSTALACIONES MECÁNICAS
- LIBRO 16. CÁLCULO, ESTUDIO Y DISEÑO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS
- LIBRO 16. SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECAÑICOS
- LIBRO 18. INSTALACIÓN Y MONTAJE DE EQUIPO ELECTROMECAÑICO

Por su parte el módulo cuatro *Operación y mantenimiento* cuenta con 14 libros que presentan procedimientos y recomendaciones para la operación y mantenimiento de redes de agua potable, alcantarillado y sistemas de tratamiento. Dentro de estos dos libros están enfocados al mantenimiento y optimización de los elementos y materiales electromecánicos, estos son:

- LIBRO 41. EFICIENCIA ENERGÉTICA, USO EFICIENTE Y AHORRO DE LA ENERGÍA
- LIBRO 43. PRUEBAS, PUESTA EN SERVICIO, OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO DE EQUIPO Y MATERIALES  
ELECTROMECAÑICOS

Estos seis libros se interrelacionan y se complementan entre sí y con los 49 libros restantes del manual, por lo que para una correcta interpretación de la información contenida en estos, se debe considerar de forma integral el contenido de los seis libros.



De forma particular, este libro está enfocado a dar información necesaria para la selección del equipo eléctrico y mecánico de las instalaciones de un sistema de bombeo.

Este libro nos guiará de cierta forma para hacer la selección correcta de equipos y componentes eléctricos tales como el motor eléctrico, transformadores, cuchillas, tableros, conductores, apartarrayos, bancos y cargadores para acumuladores eléctricos, controles de estado sólido y otros aspectos que debemos considerar para realizar una buena elección de cada uno de ellos.

De igual forma se mencionará la parte mecánica para plantas de agua cruda y potable, las consideraciones y criterios a tomar para la selección de una bomba adecuada.

Se considera también de suma importancia mencionar que está íntimamente ligado a las instalaciones mecánicas el tema de pozos profundos y sus arreglos más típicos, que se presentan de cierta forma y que se interrelacionan a los datos del aforo y características técnicas del equipo de bombeo.

Sin ser menospreciadas las plantas de aguas residuales se brinda la información para la selección de su equipo ya que son de suma importancia para abastecer las necesidades y favorecer los recursos ambientales de la comunidad.

**NOTA IMPORTANTE:**

Considere que los lineamientos y recomendaciones indicadas en este libro, obedecen a la experiencia de los especialistas en el sector hídrico. En ningún caso se pretende sustituir a las normas oficiales, internacionales, extranjeras, ni la aplicación de la mejor práctica de la ingeniería por lo que debe considerarse como una guía para la instalación de equipos.

***Palabras clave:***

*Motores eléctricos, transformadores de distribución y potencia, interruptores, cuchillas, tableros, conductores eléctricos, apartarrayos, cortacircuitos fusible, bancos y cargadores de baterías, equipos auxiliares de control, bombas verticales, bombas sumergibles, grúas.*

# 1

## INSTRUMENTOS DE GESTIÓN

En la actualidad en nuestro país enfrentamos grandes problemas energéticos, por lo que es conveniente contar con lineamientos que permitan a los organismos operadores ser eficientes al seleccionar equipos y materiales para un proyecto electromecánico, pues esto no solo consiste en la selección correcta del equipo de bombeo, sino también, en conocer el sistema hidráulico al cual está ligado; los niveles de eficiencia, dispositivos y accesorios necesarios para su funcionamiento, de lo contrario llevará a una baja eficiencia sin obtener ahorros sustantivos en su operación.

Aunado a ello debemos también considerar que el uso adecuado de la energía hará más eficiente la oferta del servicio de abastecimiento de agua potable a la población, así como la mejor operación de plantas de aguas residuales que favorezcan el uso racional de los recursos ambientales.

El personal responsable del organismo operador deberá ser personal calificado, cuyos conocimientos y facultades especiales para intervenir en la proyección, cálculo, construcción, operación o mantenimiento de una determinada instalación eléctrica. Deberá a su vez tomar en consideración el marco jurídico y normativo exis-

tente para justificar los criterios en la selección de equipo y material electromecánico requerido. El método utilizado para la determinación de la eficiencia electromecánica está fundamentado en Normas Oficiales Mexicanas, en tanto que para la predicción, causas de ineficiencia y otras recomendaciones, se basan en las Normas ANSI/HI, en publicaciones y experiencias.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), órgano Administrativo, normativo, técnico, consultivo y desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para llevar a cabo las atribuciones que le han sido conferidas, y para apoyar lo anterior, trabaja en conjunto con diversas instancias en el ámbito federal, estatal y municipal; asociaciones de usuarios y empresas; instituciones del sector privado y social así como organizaciones internacionales. Por lo que tiene la misión y visión de:

### **Misión**

Preservar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes para su administración sustentable y garantizar la seguridad hídrica con la responsabilidad de los órdenes de gobierno y la sociedad en general.

## Visión

Ser una institución de excelencia en la preservación, administración de las aguas nacionales y la seguridad hídrica de la población.

Basado en lo anterior la CONAGUA busca apoyar a los responsables de los organismos operadores en la mejor toma de decisión en la instalación y montaje de equipo electromecánico, basados en instrumentos de gestión tanto en un marco jurídico, como en un marco normativo, de tal manera que ante cualquier eventualidad, pueda tenerse la certeza de que se procedió con base a la legislación y normatividad nacional, y reforzada por estándares internacionales.

### 1.1. MARCO JURÍDICO

A continuación se presenta el Marco Legal a fin de considerar las normas jurídicas que se establecen, iniciando en la Constitución Política y apoyándose en las diferentes leyes de carácter general con sus respectivos reglamentos para su aplicación, en materia de proyectos de agua, lo que debe hacerse, por lo que fundamentan el presente libro.

- Constitución política
- Ley de Aguas Nacionales
- Reforma energética en México
- Ley de Energía Geotérmica
- Ley de la Industria Eléctrica
- Ley de los órganos reguladores y coordinados en materia energética
- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
- Ley orgánica de la Administración Pública Federal

- Ley de la Comisión Reguladora de Energía
- Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Trasmisión Energética
- Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
- Ley del Sistema de Horario en los Estados Unidos Mexicanos
- Ley General del Cambio Climático
- Ley federal Sobre Meteorología y Normalización
- Ley de Planeación
- Reglamento de Ley de Aguas Nacionales
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, en Materia de Aportaciones
- Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Trasmisión Energética
- Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
- Reglamento de la Ley federal Sobre Meteorología y Normalización
- Otras leyes secundarias

### 1.2. MARCO NORMATIVO

A continuación se presenta el Marco Normativo que contiene los programas, normas y reglas específicas para realizar y atender proyectos de agua, obedeciendo lo señalado en el marco jurídico.

La ingeniería de selección de instalaciones mecánicas deberá estar de acuerdo a las partes apli-

cables de la siguiente normatividad, estándares y reglamentos vigentes:

- Plan Nacional de Desarrollo
- Plan Nacional Hídrico
- Programa Nacional de Normalización
- Normas Oficiales Mexicanas
- Normas Mexicanas
- Normas Internacionales
- Normas extranjeras
- Sistema General de Unidades de Medida

**Nota Importante:**

Para la correcta utilización de este libro es necesario consultar las siguientes normas:

|         |                                                   |
|---------|---------------------------------------------------|
| NOM     | Normas Oficiales Mexicanas                        |
| NMX     | Normas Mexicanas                                  |
| IEEE    | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IEC     | International Electrotechnical Commission         |
| NEC     | National Electric Code                            |
| ANSI/HI | Hydraulic Institute                               |
| NEMA    | National Electrical Manufacturers Association     |
| NEC     | National Electric Code                            |



# 2

## EQUIPO ELÉCTRICO

### 2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se proporcionará información para la selección correcta de los elementos eléctricos necesarios para el funcionamiento de los sistemas de bombeo, tomando criterios y recomendaciones técnicas y normas para el funcionamiento idóneo de dichos componentes.

Cabe mencionar que en cada uno de los subtemas expuestos de este documento, contiene factores importantes a tomar en cuenta por el lector para una buena selección del equipo que quiera utilizar.

### 2.2. MOTORES<sup>1</sup>

Los motores juegan un papel muy importante en la industria, es por eso importante hacer una buena selección de éstos conforme a las aplicaciones o el uso que se le destinara. Para ello hay ciertos criterios que el ingeniero proyectista puede hacerse para su ayuda como lo son: normas, capacidades operativas, tipos de carcasas o funcionamiento.

En la selección de motores las letras de código a rotor bloqueado, indica la entrada del motor con rotor bloqueado, y debe aparecer en un bloque individual de la placa de características, debidamente designada, como se muestra en la Tabla 2.1 Características y elementos de motores ver Ilustración 2.1 e Ilustración 2.2.

#### 2.2.1. TENSIÓN

Las tensiones eléctricas nominales existentes para motores fraccionarios e integrales para servicio interior son, ver Tabla 2.2:

- a) Para motores monofásicos a plena carga :  
120/ 240,volts
- b) Para motores trifásicos a plena carga:  
208Y/120, 220Y/127, 480Y/127V volts
- c) Para motores sumergibles ver las tablas de fabricantes de características de estos

##### 2.2.1.1.Motores de corriente alterna

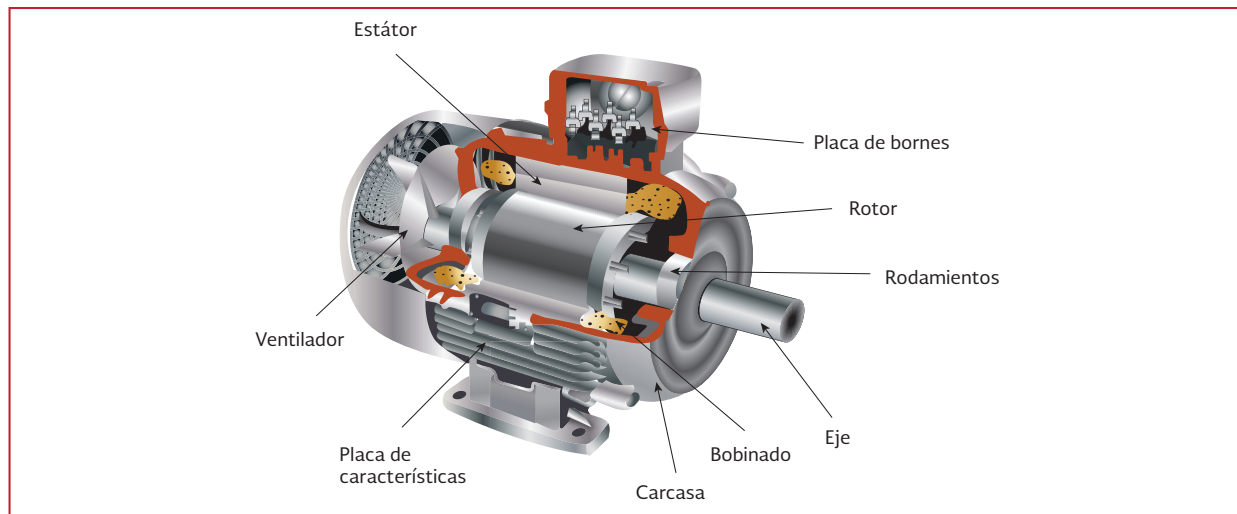
1. Motores síncronos
2. Motores asíncronos
  - a) Monofásicos
    - Bobinado auxiliar
    - Espira en cortocircuito
    - Universal

---

<sup>1</sup> Fuente: NOM- 016-ENER, NOM-001-SEDE, NEC Handbook, NEMA MG1, NMX-J-075/1, NMX-J-098.



Ilustración 2.1 Sección de motor eléctrico



#### b) Trifásicos

- Rotor bobinado
- Rotor en cortocircuito (jaula de ardilla)

Todos los motores de corriente continua así como los síncronos de corriente alterna incluidos en la clasificación anterior tienen una utilización y unas aplicaciones muy específicas. Los motores de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo costo de fabricación.

La velocidad de sincronismo de los motores eléctricos de corriente alterna viene definida por la expresión (NOM- 016-ENER):

$$n = \frac{120f}{p} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

donde:

n = Número de revoluciones por minuto

$f$  = Frecuencia de la red  
 $p$  = Numero de pares de polos

### 2.2.2. POTENCIA

#### 2.2.2.1.Par de arranque

Uno de los momentos más críticos para el motor, la red y la carga es el arranque. Por sus características propias, el motor jaula de ardilla consume durante el arranque una corriente que puede oscilar entre 5 y 8 veces la corriente nominal. El arranque es el periodo en el que el motor hace la transición desde su estado de reposo hasta su velocidad de régimen.

Para la red, la mejor condición de arranque es aquella en que este tiempo de transición es el mínimo posible y la corriente consumida es la mínima posible. Para el motor, la mejor condición de arranque es la que garantiza el menor calentamiento. Para la carga, la mejor condición es aquella que garantiza los menores desgastes mecánicos. En general, el tipo de arranque de

Ilustración 2.2 Motores verticales



cada aplicación debe ser analizado adecuadamente para lograr el mejor equilibrio entre las tres partes mencionadas previamente. Las características de la curva de carga y el momento de inercia tanto de motor como de carga, deberían ser consideradas en este análisis. Junto con criterios técnicos se considerarán criterios económicos. Existen los siguientes tipos de arranque:

1. **Directo.** El motor tendrá una corriente de arranque normal (hasta ocho veces la corriente nominal) y un par de arranque normal
2. **Estrella-Triángulo.** La corriente y el torque se reducen a la tercera parte (hasta tres veces la corriente nominal)
3. **Por Autotransformador.** El autotransformador es fabricado para entregar al motor una tensión menor de la nominal. Esta tensión puede estar entre el 30% y el 70% dependiendo de la aplicación. La corriente y el torque variarán en proporción cuadrática a la tensión de alimentación
4. **Arranque electrónico suave.** En este método, el arrancador alimenta el motor con una tensión reducida y gradualmente aumenta la tensión hasta la tensión de régimen. El comportamiento inicial de la corriente y el torque será idéntico al método 3, pero el comportamiento durante todo el periodo de transición dependerá de la manera como el arrancador suave sea controlado
5. **Variador de velocidad (o variador de frecuencia).** Mediante este método, se logra limitar la corriente de arranque a valores de hasta dos veces la corriente nominal, mientras se obtiene un torque

de arranque adecuado para cualquier aplicación. Además, la transición será la más suave posible de todos los métodos. Mecánicamente, es la mejor forma de hacer la operación, además de que permite realizar control de velocidad preciso, gracias a los avances de la electrónica de potencia y control

En los primeros tres métodos se da una transición brusca desde el reposo hasta su velocidad de régimen. En los métodos 2 y 3, adicionalmente se da una transición desde el estado de tensión reducida a tensión plena. En el método 4, se logra una transición menos brusca, pero aún con algunos saltos, pues lo que se está controlando es la tensión de alimentación. En el método 5, se logra una transición mucho más suave, pues se está controlando efectivamente la velocidad del motor y de la carga.

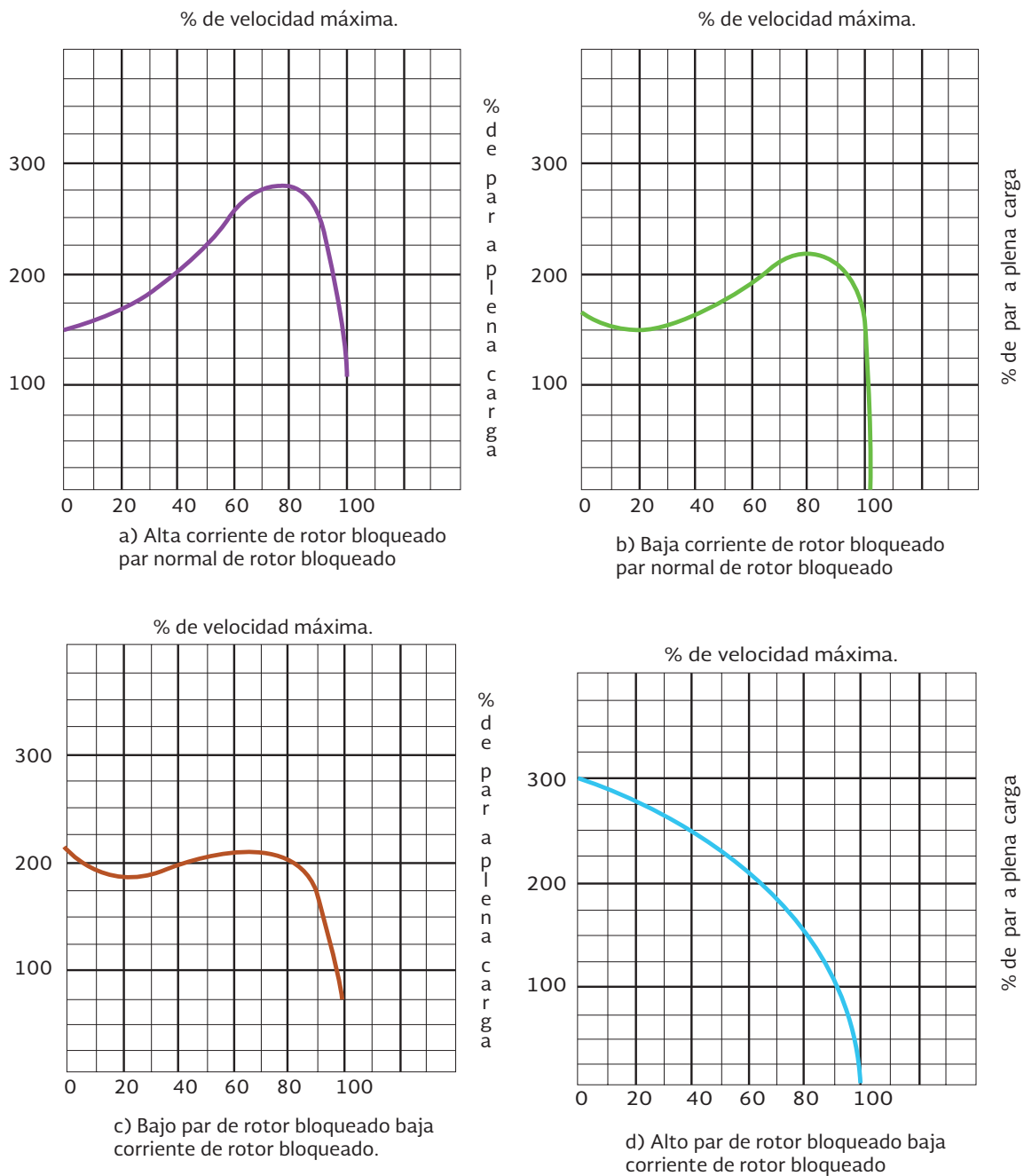
El comportamiento del par mecánico durante el arranque de un motor depende del diseño propio del mismo. Para cubrir las necesidades de las diferentes cargas acopladas a un motor, NEMA ha clasificado los motores de acuerdo a sus características de par-velocidad durante el arranque; en la Ilustración 2.3 se indica dicha clasificación. En la Tabla 2.3, Tabla 2.4, Tabla 2.5, Tabla 2.6 y Tabla 2.7 se incluyen otros valores normalizados.

#### 2.2.2.2. Protección de los motores eléctricos

La protección de motores es una función esencial para asegurar la continuidad del funcionamiento de las máquinas. La elección de los dispositivos de protección debe hacerse con sumo cuidado.

Los fallos en los motores eléctricos pueden ser, como en todas las instalaciones, los derivados de cortocircuitos, sobrecargas y los contactos indirectos

Ilustración 2.3 Diseño NEMAS alto par de rotor y baja corriente a) Nema A, b) Nema B, c) Nema C y d) Nema D



tos. Los más habituales suelen ser las sobrecargas, que se manifiestan a través de un aumento de la intensidad absorbida por el motor, así como por el aumento de la temperatura de éste.

Cada vez que se sobrepasa la temperatura normal, los aislamientos se desgastan prematuramente. Los efectos negativos no son inmediatos, con lo que el motor sigue funcionando aunque a la larga estos efectos pueden provocar las averías antes expuestas. Por ello, las protecciones utilizadas para motores eléctricos suelen ser, entre otras:

#### ***Protección contra contactos directos e indirectos***

La protección contra contactos directos e indirectos se realiza mediante la colocación de interruptores diferenciales complementados con la toma de tierra.

#### ***Protección contra sobrecargas y cortocircuitos***

Las sobrecargas en los motores eléctricos pueden aparecer por exceso de trabajo de éstos, desgaste de piezas, fallos de aislamiento en los bobinados o bien por falta de una fase. Para proteger las sobrecargas y cortocircuitos se hace uso de los fusibles y los interruptores magnetotérmicos.

Los interruptores magnetotérmicos han de ser del mismo número de polos que la alimentación del motor. Para la protección de motores y transformadores con puntas de corriente elevadas en el arranque estarán dotados de curva de disparo tipo D en la que el disparo térmico es idéntico a los demás y el disparo magnético se sitúa entre diez y veinte veces la intensidad nominal ( $I_n$ ). De esta forma, pueden soportar el momento del arranque sin que actúe el disparo térmico desconectando toda la instalación. La protección

mediante fusibles es algo más complicada, sobre todo en los motores trifásicos, ya que éstos proporcionan una protección fase a fase, de manera que en caso de fundir uno solo, dejan el motor funcionando en dos fases y provocan la sobrecarga.

Por eso, no se montan en soportes unipolares, sino que se utilizan los seccionadores portafusibles que, en caso de disparo de uno de ellos, cortan de forma omnipolar desconectando toda la instalación. En la Ilustración 2.4 podemos ver un seccionador fusible trifásico y su representación esquemática. Hemos de recordar que los fusibles adecuados para proteger instalaciones que alimentan motores eléctricos son los del tipo G.

Con objeto de simplificar y mejorar las protecciones en los accionamientos manuales de motores eléctricos, aparecen los disyuntores, que pueden proteger contra cortocircuitos (disyuntores magnéticos) o contra cortocircuitos y sobrecargas (disyuntores magnetotérmicos). El disyuntor magnético incorpora para su funcionamiento un corte magnético similar al del interruptor magnetotérmico, dotando a la instalación de una protección contra cortocircuitos más eficaz que los fusibles, ya que cortan la instalación en un tiempo menor, si bien hay que dotar a la instalación de otra protección contra las sobrecargas, ver Ilustración 2.5.

El disyuntor magnetotérmico, también llamado disyuntor motor, ver Ilustración 2.6 aporta una protección mucho más eficaz a las instalaciones de alimentación de motores eléctricos, ya que proporciona el corte magnético para proteger los posibles cortocircuitos. Además, incorpora un corte térmico similar al del interruptor magnetotérmico pero, a diferencia de este, el



Ilustración 2.4 Seccionador fusible trifásico y su presentación

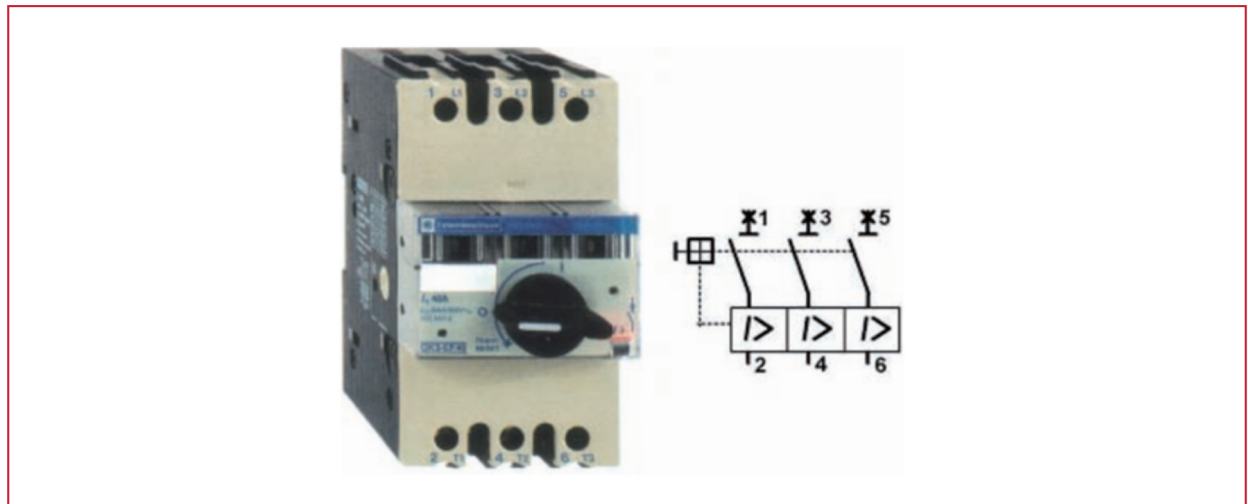


Ilustración 2.5 Disyuntor magnético trifásico y su presentación

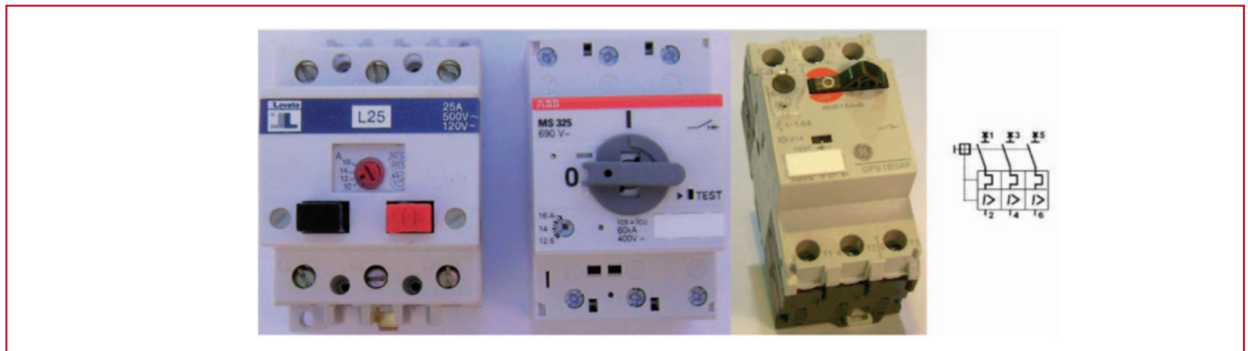
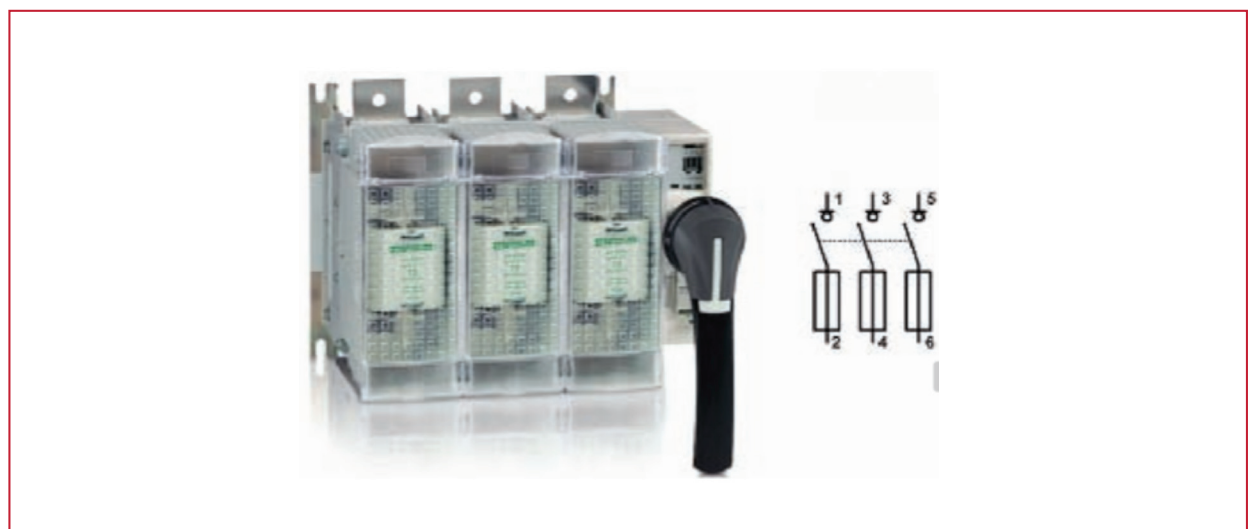


Ilustración 2.6 Distintos modelos de disyuntores magnetotérmicos trifásicos y su representación





disyuntor motor tiene la posibilidad de ajustar la intensidad de corte por sobrecarga. Estos aparatos simplifican enormemente los accionamientos de motores y agrupan en un solo aparato las protecciones contra las averías más frecuentes. También aportan la ventaja de poder realizar la reposición del servicio de forma cómoda y rápida una vez solucionada la avería. En los siguientes esquemas se representa el accionamiento de un motor trifásico de corriente alterna mediante disyuntor magnético, ver Ilustración 2.7 e Ilustración 2.8. Observa que en el primero hay que dotar a la instalación de un seccionador fusible para la protección de las sobrecargas.

#### 2.2.2.3.Motores monofásicos

Los valores de corriente a plena carga corresponden a motores que funcionan a la velocidad usual y motores con características normales de par. Las tensiones listadas son las nominales de los motores. Las corrientes listadas deben utilizarse para sistemas de tensiones nominales, ver Tabla 2.8.

Para corriente a plena carga de motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con correas bandas y a motores con características normales de par la corriente en el conductor común de un sistema de dos fases de 3 hilos será de 1.41 veces el valor dado. Las tensiones relacionadas son las nominales de los motores, ver Tabla 2.9. A continuación se muestran valores para selección de motores monofásicos sumergibles ver Tabla 2.10, Tabla 2.11, Tabla 2.12. Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia son típicos y pueden variar entre fabricantes, Referencia tomada de manual de fabricante de motores manual de proveedor.

#### 2.2.2.4.Motores trifásicos

Los valores de corrientes de plena carga son típicos para motores que funcionan a las velocidades usuales de motores con bandas y motores con características normales de par. Las tensiones enumeradas son las nominales de los motores. Las corrientes enumeradas se permitirán para sistemas con intervalos de tensión como los mostrados en la Tabla 2.13.

Se muestran valores para selección de motores trifásicos sumergibles en la Tabla 2.14, Tabla 2.15, Tabla 2.16, Tabla 2.17, Tabla 2.18. Para las longitudes del conductor en algunas tablas la numeración en negritas cumple con el amperaje del U.S. NEC sólo para cable de conductor individual, en aire libre o agua. Las longitudes que NO están en negritas cumplen con el amperaje del NEC para los conductores individuales o cable forrado.

### 2.2.3. EFICIENCIA DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN

En la Tabla 2.19 y Tabla 2.20 se muestra la eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento donde los valores de la eficiencia nominal de la Columna A se obtienen a partir del 90%, con incrementos de pérdidas del 10%, los valores de eficiencia mínima asociada de la Columna B, se obtienen incrementando las pérdidas en un 20%.

#### 2.2.3.1.Factor de potencia

El factor de potencia será dado por el fabricante conforme a diseño de fábrica.

Ilustración 2.7 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disyuntor magnético trifásico y seccionador fusible

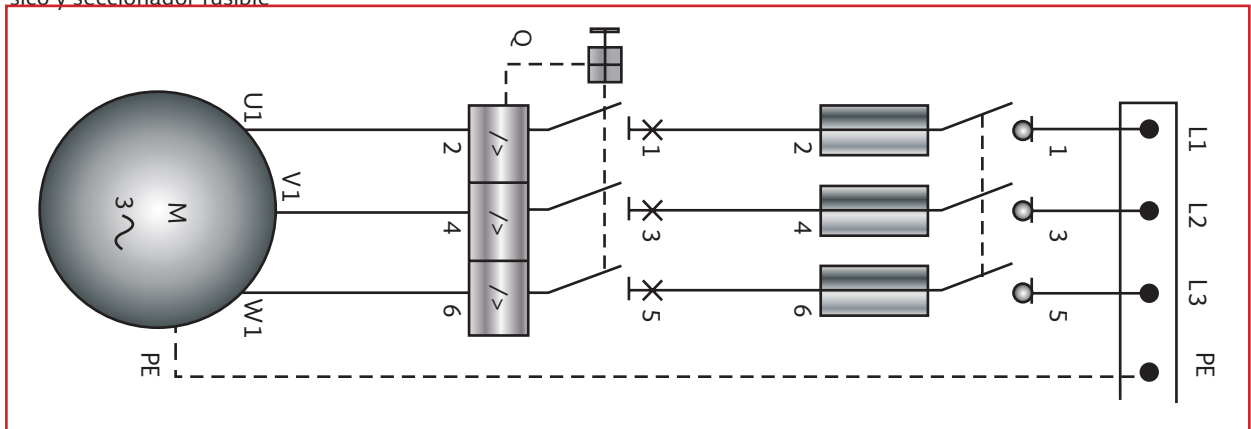
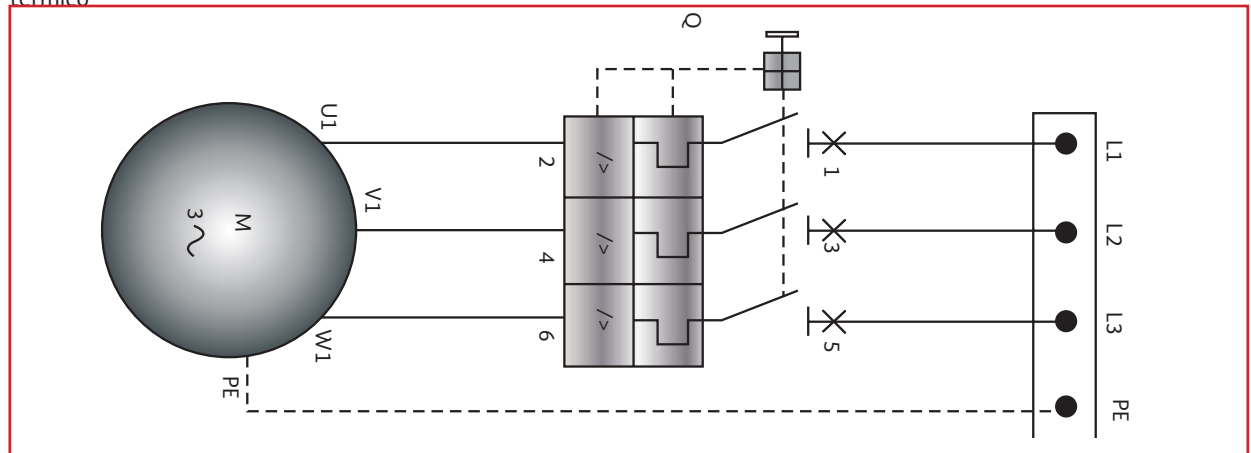


Ilustración 2.8 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disyuntor magnético térmico



#### 2.2.4. ENCLAUSTRAMIENTO

La selección de la protección mecánica de un motor debe ser de acuerdo al tipo de instalación y a las condiciones ambientales que se tengan en el sitio de instalación, ver Tabla 2.21. Esta protección puede ser para:

##### a) Motor abierto

Motor que tiene aberturas para ventilación que permiten el paso del aire exterior de enfriamiento, sobre y a través de los embobinados del motor.

##### b) Motor a prueba de goteo

Motor que tiene las aberturas de ventilación en tal forma que, gotas de un líquido o partículas sólidas que caigan sobre el motor a un ángulo no mayor de 15°, con respecto a la vertical, no puedan penetrar al motor, ya sea directamente o pegando en él y resbalando hacia adentro.

##### c) Motor a prueba de salpicaduras

Motor que tiene aberturas para ventilación en tal forma, que gotas de un líquido o partículas

sólidas que caigan sobre él, o dirigiéndose hacia éste en línea recta, a cualquier ángulo no mayor de 100° con respecto a la vertical, no puedan penetrar en el motor, ya sea directamente o pegando en él y resbalando hacia adentro.

#### **d) Motor con guarnición**

Motor en el que todas las aberturas que dan acceso directo a partes vivas o rotatorias (excepto ejes lisos), están limitadas en tamaño por el diseño estructural de las partes o cubiertas de mallas o telas metálicas, o materiales equivalentes, con el objeto de prevenir un contacto accidental con dichas partes. Estas aberturas no deben permitir el paso de una barra cilíndrica de 13 mm de diámetro, excepto cuando la distancia de protección a las partes vivas o rotatorias es mayor de 100 mm en cuyo caso no deben permitir el paso de una barra cilíndrica de 19 mm de diámetro.

#### **e) Motor semiguarnecido**

Motor en el cual parte de las aberturas de ventilación, generalmente la mitad superior, están protegidas como se indica para el motor con guarnición.

#### **f) Motor a prueba de goteo, con guarnición**

Es aquel motor a prueba de goteo en el cual las aberturas de ventilación están protegidas como se indica para el motor con guarnición.

#### **g) Motor protegido para intemperie**

Motor con pasajes de ventilación, que reducen a un mínimo la entrada de lluvia, nieve o partículas suspendidas en el aire, a las partes eléctricas del mismo.

Su construcción es tal, que una barra cilíndrica de 19 mm de diámetro como máximo, no puede penetrar por los pasajes de ventilación.

#### **h) Motor totalmente cerrado**

Es aquel cuyo armazón impide el cambio libre de aire entre el interior y el exterior del motor, sin llegar a ser hermético.

#### **i) Motor a prueba de agua**

Motor totalmente cerrado, construido en tal forma que un chorro de agua no haga contacto con su lubricante, chumaceras o embobinados.

#### **j) Motor protegido contra intemperie tipo I**

Es una máquina abierta cuyas entradas para ventilación se constituyen para disminuir al mínimo la entrada de lluvia, partículas aéreas, polvo y evitar entrada de una barra cilíndrica de 19 mm de diámetro. Antes de entrar en contacto con el aislamiento de los devanados el aire debe tener un cambio de dirección de 90° como mínimo.

#### **k) Motor protegido contra intemperie tipo II con filtros**

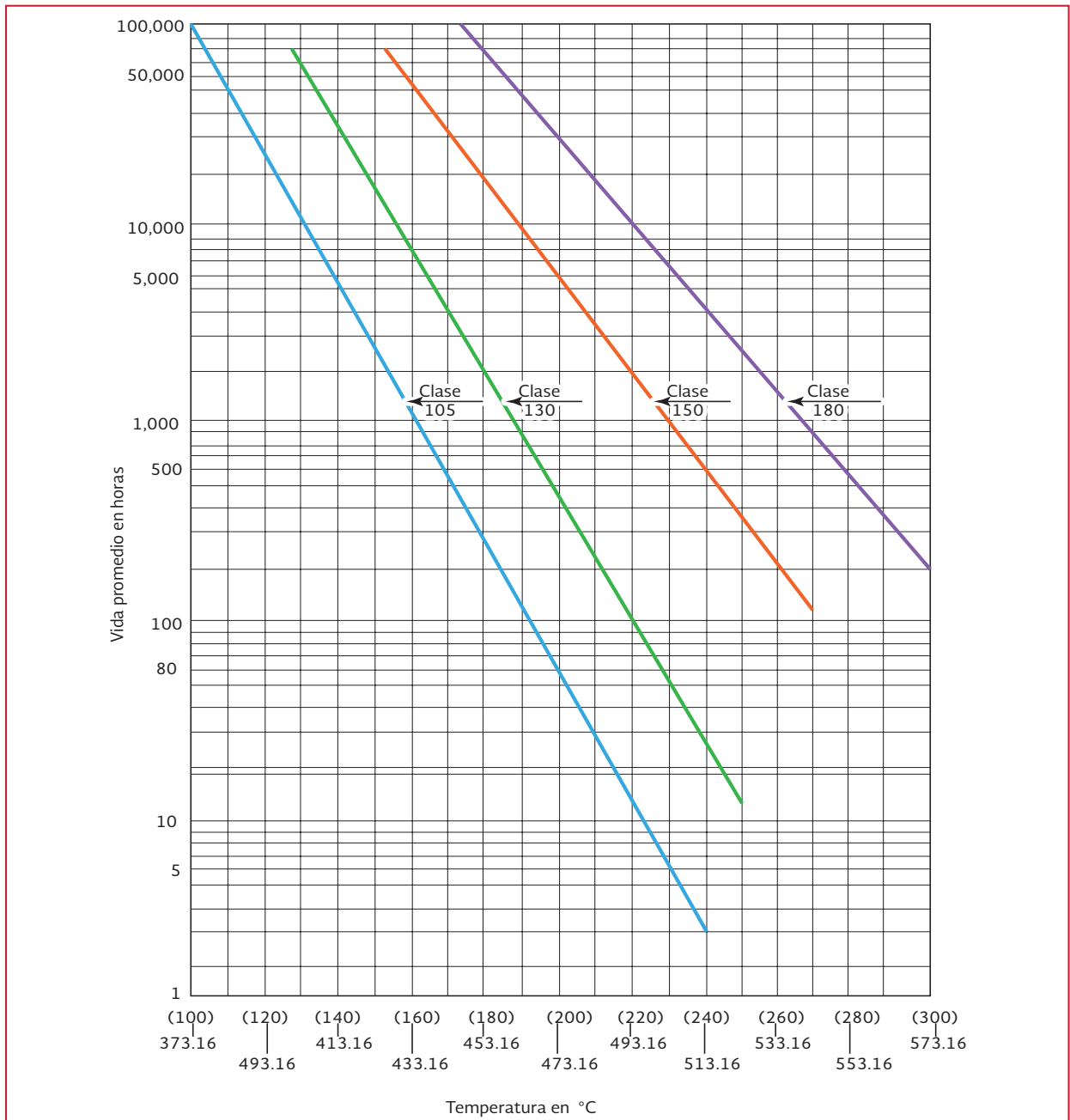
Es una máquina abierta cuyas entradas y conductos para ventilación fuerzan al aire a tener como mínimo tres cambios de dirección de 90° y con una sección con velocidad máxima de 183 m/min. Antes de entrar en contacto con el aislamiento de los devanados, para evitar la entrada de agua y mediante los filtros también se evita la entrada de polvo.

### 2.2.5. CLASE DE AISLAMIENTO

La temperatura máxima a la cual puede trabajar un motor, sumando la temperatura ambiente más la temperatura propia de funcionamiento, queda limitada por la temperatura correspondiente a la clase de aislamiento con que está construido. Las clases reconocidas de materiales aislantes y las

temperaturas máximas de operación que se les han asignado se muestran en la Tabla 2.22. La vida promedio aproximada de los devanados de un motor está en función de la clase de aislamiento y a la temperatura de operación. Cuando la temperatura de operación es mayor a la clase de aislamiento (ver Tabla 2.23), la vida promedio del motor se reduce, ver la Ilustración 2.9.

Ilustración 2.9 Vida promedio aproximada de los devanados de un motor en función de la clase de aislamiento y la temperatura de operación



Fuente: NMX-J-75/1

La temperatura ambiente y permisible para las diferentes clases de aislamiento se indica en la Ilustración 2.10. Para motores sumergibles la temperatura del motor no debe ser mayor que la permisible de operación, para los cojines radiales y de empuje en ningún caso excederá la máxima permitida para la clase de aislamiento de los devanados. Aunque para bajas temperaturas en motores sumergibles, representan una ventaja al tener una disminución de temperatura en los devanados del motor, se recomienda que éstas no sean inferiores a los 6°C (de acuerdo a fabricante).

## 2.2.6. VELOCIDAD SÍNCRONA

Para la selección de equipos adquiridos en el extranjero deberá verificarse que los motores sean de la frecuencia normalizada en México.

Las velocidades síncronas en r/min, para motores monofásicos y trifásicos se indican en la Tabla 2.24 y Tabla 2.25.

## 2.2.7. FACTOR DE SERVICIO

El factor de servicio a frecuencia y tensión nominal debe ser igual a 1.

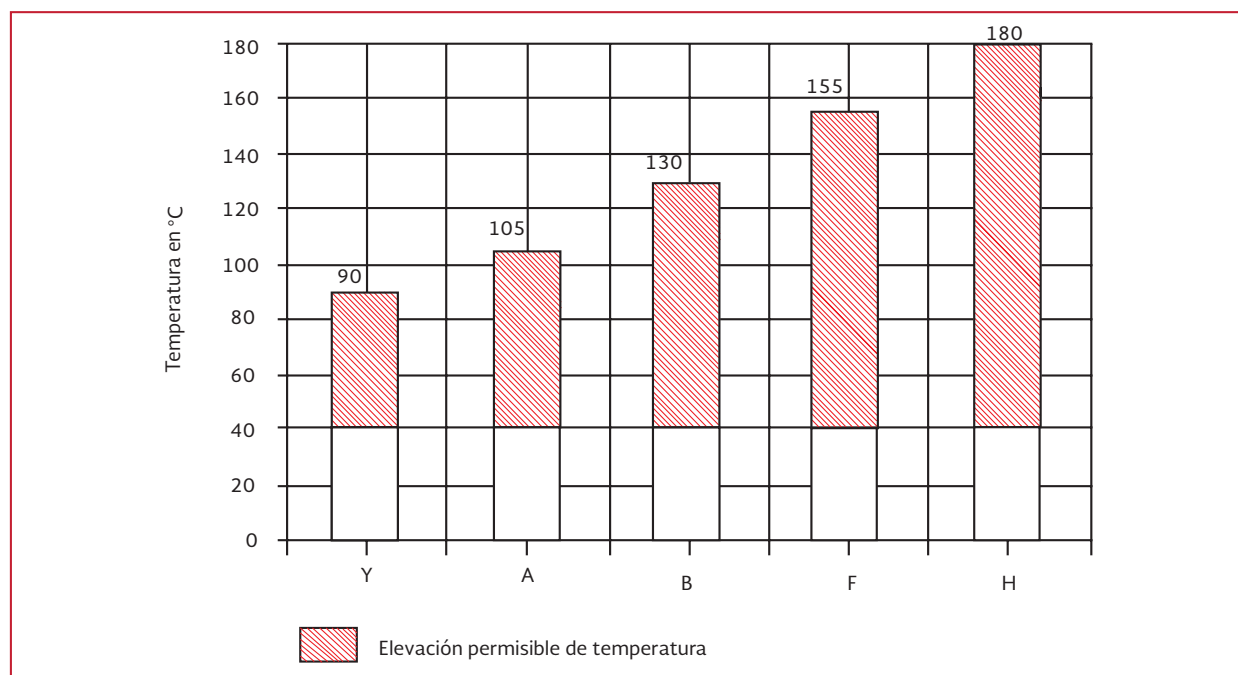
### 2.2.7.1. Servicio periódico

La operación en serie de ciclos idénticos, compuesto de cada uno de ellos de un período de operación a carga nominal, seguido de un período de reposo durante el cual el motor permanece totalmente estático, con su alimentación suprimida, debe ser suficiente para alcanzar el equilibrio térmico, ya sea durante el funcionamiento o reposo del motor.

### 2.2.7.2. Servicio continuo con carga intermitente

En una serie de ciclos idénticos, compuesto cada uno de ellos de un período a carga normal, seguida de un período sin carga únicamente, de-

Ilustración 2.10 Temperatura para las distintas clases de aislamiento



Fuente: NMX-J-75/1

ben ser suficientes para alcanzar el equilibrio térmico, ya sea durante el funcionamiento con carga o sin ella, ver Tabla 2.26.

Cualquier motor debe ser considerado como de ciclo continuo, a menos que la naturaleza de los aparatos que accione sea tal que el motor no operará continuamente con carga bajo cualquier condición de operación (NOM-001-SEDE).

### 2.2.7.3.Requisitos de la carga acoplada

La carga mecánica acoplada al motor (bomba), impone ciertos requerimientos que definen algunas características del motor. Para motores horizontales considere, que de acuerdo a su diseño, éstos deben tener su eje de rotación paralelo a su plano de montaje.

Para motores verticales considere que su posición de acuerdo a diseño, debe ser con su eje de rotación perpendicular a su plano de montaje.

## 2.2.8. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones ambientales que influyen en la selección de un motor son:

### 2.2.8.1. Altitud

Los motores podrán operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m. para exposición a temperatura ambiente entre 10°C y 40°C, y a 2 300 m.s.n.m. para una exposición a temperatura ambiente entre 10°C y 30°C (condición normal de servicio). Para cualquier valor diferente a los antes mencionados, se deberá consultar al fabricante.

Puede utilizar la siguiente ecuación para calcular la elevación de temperatura corregida en grados Celsius de un motor en función de la densidad del aire:

$$T_1 = T_2 \left( 1 - \frac{H - 1\,000}{10\,000} \right)$$

Ecuación 2.2

donde:

|       |   |                                                               |
|-------|---|---------------------------------------------------------------|
| $T_1$ | = | Elevación de temperatura referida al nivel del mar            |
| $T_2$ | = | Elevación de temperatura en grados centígrados                |
| H     | = | Altura sobre el nivel del mar donde se vaya a situar el motor |

A grandes altitudes, el aire es menos denso y menos eficaz para el enfriamiento, esto permite que en casi todos los motores la temperatura aumente alrededor del 5% por cada 300 m (1.000 pies) de altitud.

### 2.2.8.2.Tipo de instalación

Interior o exterior

### 2.2.8.3. Temperatura máxima y mínima

La temperatura máxima a la cual puede operar un motor, sumando la temperatura ambiente más la propia de funcionamiento, queda limitada por la temperatura correspondiente a la clase de aislamiento con que está construido el motor, ver Ilustración 2.10. Bajo condiciones normales de servicio considere una temperatura ambiente máxima de 40°C, a 1 000 m.s.n.m.



#### 2.2.8.4. Nivel de humedad del lugar de instalación

El nivel de humedad estará determinado por el sitio de instalación y la humedad relativa del aire medida en la zona de instalación

#### 2.2.8.5. Contaminantes en el aire

En general, los contaminantes presentes en el aire son:

- a) Polvo excesivo
- b) Humedad excesiva, en lugares lluviosos
- c) Muy baja humedad, en lugares semidesérticos o desérticos
- d) Humedad y salinidad, en lugares cercanos al mar
- e) Humedad y alta temperatura, en lugares calurosos con lluvias abundantes

Además de otras sustancias que al combinarse con agua o con aire húmedo se convierten en sustancias corrosivas. Éstas pueden existir en lugares desérticos o cercanos a las playas, así como en lugares con vientos de alta velocidad. Con la información de los puntos anteriores y las especificaciones para motores de inducción, jaula de ardilla, en potencias grandes, seleccione el motor requerido y para motores sumergibles se incluirán los siguientes datos:

#### 2.2.8.6. Profundidad

Las bombas deben instalarse con tal profundidad que éstas garanticen la columna de agua requerida, por arriba de la entrada de la bomba según la profundidad necesaria a partir del cuerpo

de la válvula check y debajo del nivel dinámico. En ningún caso el nivel de agua arriba de la bomba, deberá exceder de 120 m, con instalación máxima de profundidad hasta 400 m.

#### 2.2.8.7. Contaminación en el agua

Este tipo de motores sumergibles podrán ser instalados en aguas negras, salubres, incrustantes, etcétera.

#### 2.2.8.8. Salinidad

El grado de salinidad se indicará de forma específica de acuerdo al sitio de instalación (mar, pozo, etcétera). La protección de todas las instalaciones metálicas contra la corrosión debe aplicarse desde la etapa de construcción para proyectos nuevos, así como en sustituciones, modificaciones y/o remodelaciones siendo la galvanización por inmersión en caliente una opción rentable y con mayor vida útil antes de requerir mantenimiento, para aquellos componentes susceptibles de ser galvanizados.

En caso de algunos equipos se tendrá que buscar que el fabricante especifique los siguientes puntos:

1. Materiales: características del material a galvanizar
2. Recubrimientos de zinc: condiciones del baño de zinc
3. Espesores mínimos del recubrimiento
4. Medición del espesor del recubrimiento galvanizado
5. Requerimientos de diseño
6. Sistemas Dúplex

#### 2.2.8.9. Accesorios

##### ***RTD (Detector térmico de resistencia)***

Son utilizados para obtener lecturas de calentamiento de arrollamientos, siendo éstos de cobre, platino y níquel, su empleo dependerá de las disposiciones de protección que se tengan y generalmente son utilizados en motores de media tensión. ver Ilustración 2.11.

##### ***Resistencias calefactoras***

Son utilizadas principalmente en ambientes tropicales húmedos y en donde se pueda acumular

humedad dentro del motor, se recomienda emplearlo en motores de 50 h.p. y mayores.

##### ***Chumaceras y rodamientos***

Su utilización dependerá de la carga dinámica y estática de la flecha del motor de su acuerdo al diseño del motor, ver Ilustración 2.12.

##### ***Detectores de vibración***

Requeridos muy aparte del motor y serán instalados en chumaceras, rodamientos y flecha del motor. Su utilización dependerá de su carga acoplada como de los requerimientos de la instalación.

Ilustración 2.11 Resistencia anti-condensación

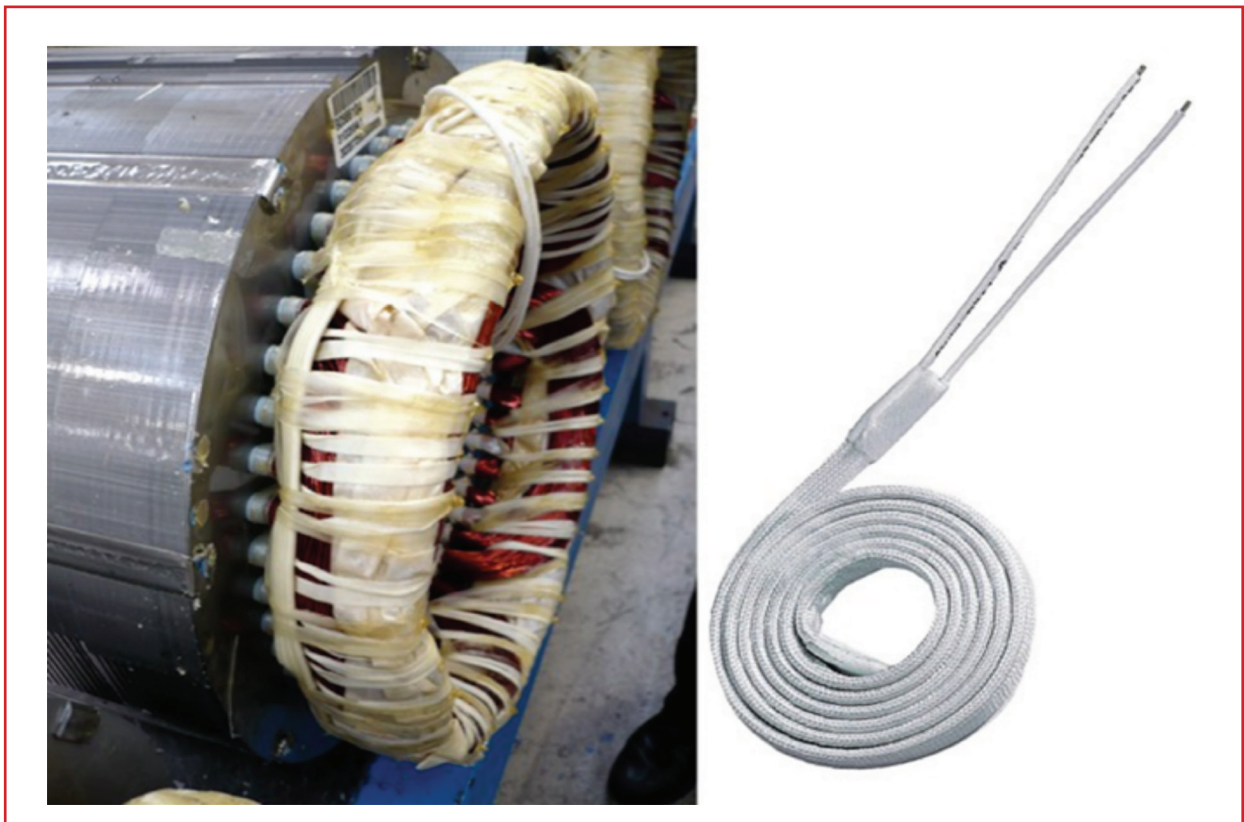


Ilustración 2.12 Chumacera y rodamiento



Tabla 2.1 Letras de código de indicación para rotor bloqueado

| Letra código | Kilovoltamperes por caballo de fuerza con el rotor bloqueado |
|--------------|--------------------------------------------------------------|
| A            | 0 – 3.14                                                     |
| B            | 3.15 – 3.54                                                  |
| C            | 3.55 – 3.99                                                  |
| D            | 4.0 – 4.49                                                   |
| E            | 4.50 – 4.99                                                  |
| F            | 5.0 – 5.59                                                   |
| G            | 5.60 – 6.29                                                  |
| H            | 6.30 – 7.09                                                  |
| J            | 7.10 – 7.99                                                  |
| K            | 8.0 – 8.99                                                   |
| L            | 9.0 – 9.99                                                   |
| M            | 10.0 – 11.19                                                 |
| N            | 11.20 – 12.49                                                |
| P            | 12.50 – 13.99                                                |
| R            | 14.0 – 15.99                                                 |
| S            | 16.0 – 17.99                                                 |
| T            | 18.0 – 19.99                                                 |
| U            | 20.0 – 22.39                                                 |
| V            | 22.40 en adelante                                            |

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.2 Tensiones eléctricas normalizadas

| Clasificación      | Tensión eléctrica nominal del sistema* (V) |                 |                         | Tensión eléctrica de servicio (V) |               | Tensión eléctrica nominal de utilización** (V) |
|--------------------|--------------------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------|------------------------------------------------|
|                    | 1 fase 3 hilos                             | 3 fases 3 hilos | 3 fases 4 hilos         | Máximo                            | Mínimo        |                                                |
| Baja tensión       | 120/240                                    | -               | -                       | 126/252                           | 108/216       | <u>115/230</u>                                 |
|                    | -                                          | -               | 208Y/120 (1)            | -                                 | -             | =                                              |
|                    | -                                          | -               | <u>220 Y/127 (2)</u>    | 231/133.3                         | 198/114.3     | <u>208 Y/120</u>                               |
|                    | -                                          | -               | <u>480 Y/277</u>        | 504/291                           | 432/249.4     | <u>460 Y/265</u>                               |
|                    | -                                          | <u>480</u>      | -                       | 504                               | 432           | <u>460</u>                                     |
| Media tensión      | -                                          | -               | -                       | -                                 | -             | -                                              |
|                    | -                                          | <u>4 160</u>    | -                       | 4 368                             | 3 744         | -                                              |
|                    | -                                          | -               | -                       | -                                 | -             | <u>4 000</u>                                   |
|                    | -                                          | <u>13 800</u>   | <u>13 800 Y/7 970</u>   | 14 490                            | 12 420        | -                                              |
|                    | -                                          | -               | -                       | 14 490/8 366                      | 12 420/7 171  | <u>13 200</u>                                  |
|                    | -                                          | <u>23 000</u>   | <u>23 000 Y/13 280-</u> | 24 150                            | 20 700        | -                                              |
|                    | -                                          | -               | -                       | 24 150/13 943                     | 20 700/11 951 | -                                              |
|                    | -                                          | <u>34 500</u>   | <u>34 500 Y/19 920</u>  | 36 225                            | 31 050        | -                                              |
| Alta tensión       | -                                          | -               | -                       | 36 225/20 915                     | 31 050/17 927 | -                                              |
|                    | -                                          | 69 000          | -                       | 72 450                            | -             | -                                              |
|                    | -                                          | 85 000          | -                       | 123 000                           | -             | -                                              |
|                    | -                                          | <u>115 000</u>  | -                       | 123 000                           | -             | -                                              |
|                    | -                                          | 138 000         | -                       | 145 000                           | -             | -                                              |
|                    | -                                          | 161 000         | -                       | 170 000                           | -             | -                                              |
| Extra alta tensión | -                                          | 230 000         | -                       | 245 000                           | -             | -                                              |
|                    | -                                          | <u>400 000</u>  | -                       | 420 000                           | -             | -                                              |

Notas:

- En esta tabla no se muestran las tensiones congeladas que están en uso actualmente, por que la tendencia es su desaparición.
  - El valor máximo y mínimo de la tensión eléctrica de servicio se obtiene aplicando la tolerancia de +5% y -10% al valor de la tensión eléctrica nominal del sistema.
  - Para disminuir la diferencia entre las bandas de tensión eléctrica (por ejemplo 127V vs. 120V) se recomienda que las tolerancias para obtener la tensión eléctrica de suministro se reduzca a +5% y -10% de acuerdo con los recursos disponibles y la interconexión de los diferentes tipos de cargas y fuentes
  - Los niveles aquí establecidos y sus tolerancias sólo aplican para niveles de tensión eléctrica sostenido a la frecuencia del sistema y no para fallas momentáneas que puedan resultar de causas tales como operación de maniobra, corrientes de arranque de motores o cualquier otra condición como puede ser distorsión armónica, fluctuaciones de tensión, parpadeo y otros, razón por la cual se definen las responsabilidades siguientes:
    - El usuario es responsable de mantener un sistema eléctrico por debajo de los límites que especifique la compañía suministradora
    - La compañía suministradora es responsable de la coordinación de los niveles de distorsión bajo condiciones normales de operación
    - Las instalaciones eléctricas de los usuarios debe de cumplir con las Normas Mexicanas NMX-J-610/3-3-ANCE, NMX-J-610/3-6-ANCE, NMX-J-610/3-7-ANCE y NMX-J-610/4-30-ANCE
  - Para efectos de la variación en la tensión de utilización, es importante tener en cuenta que la NOM-001-SEDE recomienda que la caída máxima de tensión eléctrica de los circuitos alimentadores y derivados, hasta la salida eléctrica más alejada, no supere 5% para una razonable eficacia de funcionamiento de los sistemas y de los elementos que la componen
- La tensión 208Y/120 no es una tensión que se encuentra dentro del sistema eléctrico del suministrador, sin embargo, se utiliza para el diseño de instalación eléctrica
  - La tensión 220Y/127, se suministrara en la carga que así lo requieran por el tamaño y tipo de carga, siendo la tensión y sistema preferente de 120/240 y 1 fase 3 hilos
- (\*) Las tensiones nominales preferentes son las que se presentan subrayadas, el resto son tensiones restringidas.
- (\*\*) La tolerancia de la tensión eléctrica nominal de utilización está en función de la tensión eléctrica máxima de servicio y da la caída máxima permisible en la instalación del usuario

Fuente: NMX-J-098-ANCE

Tabla 2.3 Conductor del secundario

| Clasificación de servicio en función de la resistencia | Ampacidad del conductor en porcentaje de la corriente a plena carga del secundario |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Arranque ligero                                        | 35                                                                                 |
| Arranque pesado                                        | 45                                                                                 |
| Arranque extra-pesado                                  | 55                                                                                 |
| Arranque ligero intermitente                           | 65                                                                                 |
| Arranque intermitente medio                            | 75                                                                                 |
| Arranque intermitente pesado                           | 85                                                                                 |
| Servicio Continuo                                      | 110                                                                                |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.4 Valores mínimos de par de arranque para motores trifásicos diseños "a" y "b", 60 Hz en porciento del par a carga plena

| kW     | h.p. | Velocidad síncrona en r/min, 60 Hz |      |      |     |
|--------|------|------------------------------------|------|------|-----|
|        |      | 3600                               | 1800 | 1200 | 900 |
| 0.187  | 1/4  | 190                                | 275  | 190  | 170 |
| 0.249  | 1/3  | 190                                | 275  | 190  | 170 |
| 0.373  | 1/2  | 190                                | 275  | 190  | 140 |
| 0.560  | 3/4  | 180                                | 275  | 175  | 135 |
| 0.746  | 1    | 180                                | 275  | 170  | 135 |
| 1.119  | 1 ½  | 175                                | 190  | 165  | 130 |
| 1.492  | 2    | 170                                | 190  | 160  | 130 |
| 2.238  | 3    | 160                                | 190  | 155  | 130 |
| 3.730  | 5    | 150                                | 185  | 150  | 130 |
| 5.600  | 7 ½  | 140                                | 170  | 150  | 125 |
| 7.460  | 10   | 135                                | 165  | 150  | 125 |
| 11.19  | 15   | 130                                | 160  | 140  | 125 |
| 14.92  | 20   | 130                                | 150  | 135  | 125 |
| 18.65  | 25   | 130                                | 150  | 135  | 125 |
| 22.38  | 30   | 130                                | 150  | 135  | 125 |
| 29.84  | 40   | 125                                | 140  | 135  | 125 |
| 37.30  | 50   | 120                                | 140  | 135  | 125 |
| 44.76  | 60   | 120                                | 140  | 135  | 125 |
| 55.95  | 75   | 105                                | 140  | 135  | 125 |
| 74.60  | 100  | 105                                | 125  | 125  | 125 |
| 93.25  | 175  | 100                                | 110  | 125  | 120 |
| 111.90 | 150  | 100                                | 110  | 120  | 120 |
| 149.20 | 200  | 100                                | 100  | 120  | 120 |
| 186.50 | 250  | 70                                 | 80   | 100  | 100 |
| 223.80 | 300  | 70                                 | 80   | 100  | -   |
| 261.1  | 350  | 70                                 | 80   | 100  | -   |
| 298.4  | 400  | 70                                 | 80   | -    | -   |
| 335.7  | 450  | 70                                 | 80   | -    | -   |
| 373.0  | 500  | 70                                 | 80   | -    | -   |

Nota: Los valores en porciento están referidos al par de plena carga en régimen nominal, son los menores aceptables, y corresponden a motores de una sola velocidad

Fuente: NMX-J-75/1

Tabla 2.5 Valores mínimos de par de arranque (a rotor bloqueado) para motores; diseños “A” y “B” a 60 Hz en por ciento del par a plena carga

| Potencia |      | Velocidad síncrona en (r/min) 60 Hz |           |           |           |
|----------|------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| kW       | h.p. | 3600                                | 1800      | 1200      | 900       |
| 0.187    | 1/4  | 265 a 380                           | 260 a 370 | 240 a 335 | 280 a 330 |
| 0.240    | 1/3  | 285 a 370                           | 275 a 360 | 231 a 330 | 250 a 330 |
| 0.373    | 1/2  | 250 a 360                           | 235 a 335 | 220 a 315 | 225       |
| 0.560    | 3/4  | 245 a 335                           | 225 a 315 | 275       | 220       |
| 0.746    | 1    | 255 a 330                           | 300       | 265       | 215       |
| 1.119    | 1 ½  | 250                                 | 280       | 250       | 210       |
| 1.492    | 2    | 240                                 | 270       | 240       | 210       |
| 2.238    | 3    | 230                                 | 250       | 230       | 205       |
| 3.73     | 5    | 215                                 | 225       | 215       | 205       |
| 5.60     | 7 ½  | 200                                 | 215       | 205       | 200       |
| 7.46     | 10   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 11.19    | 15   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 14.92    | 20   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 18.65    | 25   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 22.38    | 30   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 29.84    | 40   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 37.30    | 50   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 44.76    | 60   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 55.95    | 75   | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 74.60    | 100  | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 93.25    | 125  | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 111.90   | 150  | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 149.20   | 200  | 200                                 | 200       | 200       | 200       |
| 186.50   | 250  | 175                                 | 175       | 175       | 175       |
| 223.80   | 300  | 175                                 | 175       | 175       |           |
| 261.10   | 350  | 175                                 | 175       | 175       |           |
| 298.40   | 400  | 175                                 | 175       |           |           |
| 335.70   | 450  | 175                                 | 175       |           |           |
| 373.0    | 500  | 175                                 | 175       |           |           |

Fuente: NMX-J-75/1



Tabla 2.6 Valores máximos de la corriente de arranque en amperes, a 220 volts y 60 Hz

| kW     | h.p. | A     | Diseño |   |   |
|--------|------|-------|--------|---|---|
| 0.187  | 1/4  | 15    | B      | D |   |
| 0.249  | 1/3  | 17    | B      | D |   |
| 0.373  | 1/2  | 21    | B      | D |   |
| 0.560  | 3/4  | 26    | B      | D |   |
| 0.746  | 1    | 31    | B      | D |   |
| 1.119  | 1 ½  | 42    | B      | D |   |
| 1.492  | 2    | 52    | B      | D |   |
| 2.238  | 3    | 67    | B      | C | D |
| 3.73   | 5    | 96    | B      | C | D |
| 5.60   | 7 ½  | 133   | B      | C | D |
| 7.46   | 10   | 169   | B      | C | D |
| 11.19  | 15   | 242   | B      | C | D |
| 14.92  | 20   | 303   | B      | C | D |
| 18.65  | 25   | 382   | B      | C | D |
| 22.38  | 30   | 455   | B      | C | D |
| 29.84  | 40   | 606   | B      | C | D |
| 37.30  | 50   | 758   | B      | C | D |
| 44.76  | 60   | 909   | B      | C | D |
| 55.95  | 75   | 1 134 | B      | C | D |
| 74.60  | 100  | 1 516 | B      | C | D |
| 93.25  | 125  | 1 897 | B      | C | D |
| 111.90 | 150  | 2 269 | B      | C | D |
| 149.20 | 200  | 3 032 | B      | C |   |
| 186.50 | 250  | 3 816 | B      |   |   |
| 223.80 | 300  | 4 600 | B      |   |   |
| 261.1  | 350  | 5 332 | B      |   |   |
| 298.4  | 400  | 6 064 | B      |   |   |
| 335.7  | 450  | 6 795 | B      |   |   |
| 373.0  | 500  | 7 579 | B      |   |   |

NOTAS: Para diseño "A" los valores máximos de la corriente de arranque, exceden a los estipulados en esta tabla. La corriente a rotor bloqueado de los motores diseñados para tensiones diferentes a 220 volts debe ser inversamente proporcional a las tensiones

Fuente: NMX-J-75/1

Tabla 2.7 Par de rotor bloqueado de motores monofásicos

| Potencia |      | Velocidad síncrona |       |       |       |
|----------|------|--------------------|-------|-------|-------|
| kW       | h.p. | r/min              | 3600  | 1800  | 1200  |
|          |      |                    | N-m   | N-m   | N-m   |
| 0.093    | 1/8  | .....              | --    | 2.0   | 2.71  |
| 0.124    | 1/6  | .....              | 1.27  | 2.8   | 3.64  |
| 0.1865   | 1/4  | .....              | 1.78  | 3.9   | 5.0   |
| 0.249    | 1/3  | .....              | 2.2   | 4.83  | 6.19  |
| 0.373    | 1/2  | .....              | 3.14  | 7.2   | 8.48  |
| 0.56     | 3/4  | .....              | 4.24  | 10.08 | 10.85 |
| 0.746    | 1    | .....              | 5.17  | 12.2  | 12.88 |
| 1.119    | 1 ½  | .....              | 6.1   | 16.95 | 17.63 |
| 1.492    | 2    | .....              | 7.46  | 21.7  | 21.7  |
| 2.238    | 3    | .....              | 10.17 | 29.84 | 31.9  |
| 3.73     | 5    | .....              | 14.92 | 44.76 | --    |
| 5.6      | 7 ½  | .....              | 21.7  | 61.03 | --    |
| 7.46     | 10   | .....              | 28.48 | 70.53 | --    |

Fuente: NMX-J-75/1

Tabla 2.8 Corriente a plena carga de motores monofásicos de corriente alterna

| kW   | h.p. | 115 volts | 127 volts | 208 volts | 230 volts |
|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|      |      | Amperes   |           |           |           |
| 0.12 | 1/6  | 4.4       | 4         | 2.4       | 2.2       |
| 0.19 | 1/4  | 5.8       | 5.3       | 3.2       | 2.9       |
| 0.25 | 1    | 7.2       | 6.5       | 4         | 3.6       |
| 0.37 | 1/2  | 9.8       | 8.9       | 5.4       | 4.9       |
| 0.56 | 3/4  | 13.8      | 11.5      | 7.6       | 6.9       |
| 0.75 | 1    | 16        | 14        | 8.8       | 8         |
| 1.12 | 1 ½  | 20        | 18        | 11        | 10        |
| 1.5  | 2    | 24        | 22        | 13.2      | 12        |
| 2.25 | 3    | 34        | 31        | 18.7      | 17        |
| 3.75 | 5    | 56        | 51        | 30.8      | 28        |
| 5.6  | 7 ½  | 80        | 72        | 44        | 40        |
| 7.5  | 10   | 100       | 91        | 55        | 50        |

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.9 Corriente a plena carga para motores de dos fases de corriente alterna (4 hilos)

| kW   | h.p. | Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado |           |           |           |             |
|------|------|-----------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|      |      | 115 volts                                                 | 230 volts | 460 volts | 575 volts | 2 300 volts |
|      |      | Amperes                                                   |           |           |           |             |
| 0.37 | 1/2  | 4                                                         | 2         | 1         | 0.8       | —           |
| 0.56 | 3/4  | 4.8                                                       | 2.4       | 1.2       | 1         | —           |
| 0.75 | 1    | 6.4                                                       | 3.2       | 1.6       | 1.3       | —           |
| 1.12 | 1 ½  | 9                                                         | 4.5       | 2.3       | 1.8       | —           |
| 1.5  | 2    | 11.8                                                      | 5.9       | 3         | 2.4       | —           |
| 2.25 | 3    | —                                                         | 8.3       | 4.2       | 3.3       | —           |
| 3.75 | 5    | —                                                         | 13.2      | 6.6       | 5.3       | —           |
| 5.6  | 7 ½  | —                                                         | 19        | 9         | 8         | —           |
| 7.5  | 10   | —                                                         | 24        | 12        | 10        | —           |
| 11.2 | 15   | —                                                         | 36        | 18        | 14        | —           |
| 14.9 | 20   | —                                                         | 47        | 23        | 19        | —           |
| 18.7 | 25   | —                                                         | 59        | 29        | 24        | —           |
| 22.4 | 30   | —                                                         | 69        | 35        | 28        | —           |
| 29.8 | 40   | —                                                         | 90        | 45        | 36        | —           |
| 37.3 | 50   | —                                                         | 113       | 56        | 45        | —           |
| 44.8 | 60   | —                                                         | 133       | 67        | 53        | 14          |
| 56   | 75   | —                                                         | 166       | 83        | 66        | 18          |
| 75   | 100  | —                                                         | 218       | 109       | 87        | 23          |
| 93   | 125  | —                                                         | 270       | 135       | 108       | 28          |
| 120  | 150  | —                                                         | 312       | 156       | 125       | 32          |
| 149  | 200  | —                                                         | 416       | 208       | 167       | 43          |

Fuente. NOM-001-SEDE.

Tabla 2.10 Selección de medios de protección y control para motores monofásicos sumergibles

| Tipo                    | Capacidad del motor |      |       | Amps de fusible o interruptores automáticos |                                         |                        |                   | Amps de fusible o interruptores automáticos |                                         |                        |                   |
|-------------------------|---------------------|------|-------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------|-------------------|
|                         | kW                  | h.p. | volts | Fusible estándar                            | Fusible doble elemento con temporizador | Interruptor automático | Sumergible típico | Fusible estándar                            | Fusible doble elemento con temporizador | Interruptor automático | Sumergible típico |
| 4" 2-Hilos              | 0.37                | 1/2  | 115   | 35                                          | 20                                      | 30                     | 15                | 30                                          | 15                                      | 30                     | 15                |
|                         | 0.37                | 0.37 | 230   | 20                                          | 10                                      | 15                     | 8                 | 15                                          | 8                                       | 15                     | 8                 |
|                         | 0.55                | 3/4  | 230   | 25                                          | 15                                      | 20                     | 10                | 20                                          | 10                                      | 20                     | 10                |
|                         | 0.75                | 1    | 230   | 30                                          | 20                                      | 25                     | 11                | 25                                          | 11                                      | 25                     | 11                |
|                         | 1.1                 | 1.5  | 230   | 35                                          | 20                                      | 30                     | 15                | 35                                          | 15                                      | 30                     | 15                |
| 4" 3-Hilos              | 0.37                | 1/2  | 115   | 35                                          | 20                                      | 30                     | 15                | 30                                          | 15                                      | 30                     | 15                |
|                         | 0.37                | 1/2  | 230   | 20                                          | 10                                      | 15                     | 8                 | 15                                          | 8                                       | 15                     | 8                 |
|                         | 0.55                | 3/4  | 230   | 25                                          | 15                                      | 20                     | 10                | 20                                          | 10                                      | 20                     | 10                |
|                         | 0.75                | 1    | 230   | 30                                          | 20                                      | 25                     | 11                | 25                                          | 11                                      | 25                     | 11                |
|                         | 1.1                 | 1.5  | 230   | 35                                          | 20                                      | 30                     | 15                | 30                                          | 15                                      | 30                     | 15                |
| 4" 3-Hilos C/<br>CRC CB | 0.37                | 1/2  | 230   | 20                                          | 10                                      | 15                     | 8                 | 15                                          | 8                                       | 15                     | 8                 |
|                         | 0.55                | 3/4  | 230   | 25                                          | 15                                      | 20                     | 10                | 20                                          | 10                                      | 20                     | 10                |
|                         | 0.75                | 1    | 230   | 30                                          | 20                                      | 25                     | 11                | 25                                          | 11                                      | 25                     | 11                |
|                         | 1.1                 | 1.5  | 230   | 35                                          | 20                                      | 30                     | 15                | 30                                          | 15                                      | 30                     | 15                |
|                         | 1.5                 | 2    | 230   | 45                                          | 30                                      | 40                     | 20                | 45                                          | 20                                      | 40                     | 20                |
| 4" 3-Hilos              | 0.37                | 1/2  | 230   | 20                                          | 10                                      | 15                     | 8                 | 15                                          | 8                                       | 15                     | 8                 |
|                         | 0.55                | 3/4  | 230   | 25                                          | 15                                      | 20                     | 10                | 20                                          | 10                                      | 20                     | 10                |
|                         | 0.75                | 1    | 230   | 30                                          | 20                                      | 25                     | 11                | 25                                          | 11                                      | 25                     | 11                |
|                         | 1.1                 | 1.5  | 230   | 35                                          | 20                                      | 30                     | 15                | 30                                          | 15                                      | 30                     | 15                |
|                         | 1.5                 | 2    | 230   | 45                                          | 30                                      | 40                     | 20                | 45                                          | 20                                      | 40                     | 20                |
| 6"                      | 3.7                 | 5    | 230   | 80                                          | 45                                      | 60                     | 30                | 70                                          | 30                                      | 60                     | 30                |
|                         | 3.7                 | 5    | 230   | 80                                          | 45                                      | 60                     | 30                | 70                                          | 30                                      | 60                     | 30                |
|                         | 5.5                 | 7.5  | 230   | 125                                         | 70                                      | 100                    | 50                | 110                                         | 50                                      | 100                    | 50                |
|                         | 7.5                 | 10   | 230   | 150                                         | 80                                      | 125                    | 60                | 150                                         | 60                                      | 125                    | 60                |
|                         | 11                  | 15   | 230   | 200                                         | 125                                     | 175                    | 90                | 200                                         | 90                                      | 175                    | 90                |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.11 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador

| Capacidad del motor |      |      | Forro A 60 °C - calibre del cable de cobre AWG |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |     |      |
|---------------------|------|------|------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|
| Volt                | kW   | h.p. | 14                                             | 12  | 10  | 8   | 6   | 4    | 3    | 2    | 1    | 0    | 00   | 000 | 0000 |
| 115                 | 0.37 | 1/2  | 30                                             | 49  | 76  | 119 | 189 | 293  | 363  | 445  | 543  | 658  | 802  | 957 | 1149 |
|                     | 0.37 | 1/2  | 122                                            | 198 | 311 | 491 | 765 | 1183 | 1466 | 1792 | 2185 | 2658 | 0    | 0   | 0    |
|                     | 0.55 | 3/4  | 91                                             | 146 | 232 | 366 | 570 | 881  | 1091 | 1332 | 1625 | 1972 | 2399 | 0   | 0    |
| 1                   | 0.75 | 76   | 122                                            | 122 | 192 | 302 | 469 | 725  | 902  | 1100 | 1344 | 1634 | 1987 | 0   | 0    |
|                     | 1.1  | 1.5  | 58                                             | 94  | 146 | 235 | 366 | 570  | 707  | 869  | 1067 | 1305 | 1597 | 0   | 0    |
| 230                 | 1.5  | 2    | 46                                             | 76  | 119 | 189 | 296 | 466  | 582  | 719  | 893  | 1103 | 1366 | 0   | 0    |
|                     | 2.2  | 3    | 37                                             | 58  | 91  | 143 | 229 | 363  | 454  | 564  | 707  | 881  | 1100 | 0   | 0    |
|                     | 3.7  | 5    | 0                                              | 0   | 55  | 85  | 137 | 216  | 271  | 338  | 424  | 530  | 661  | 817 | 0    |
|                     | 5.5  | 7.5  | 0                                              | 0   | 0   | 61  | 94  | 149  | 186  | 229  | 283  | 347  | 430  | 524 | 0    |
|                     | 7.5  | 10   | 0                                              | 0   | 0   | 0   | 76  | 119  | 149  | 183  | 229  | 283  | 354  | 436 | 536  |
|                     | 11   | 15   | 0                                              | 0   | 0   | 0   | 52  | 82   | 104  | 131  | 162  | 201  | 250  | 311 | 384  |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.12 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador

| Capacidad del motor |      | Forro A 75 °C - calibre del cable de cobre AWG |           |           |           |           |           |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------|------|------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volt                | kW   | h.p.                                           | 14        | 12        | 10        | 8         | 6         | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  |
| 115                 | 0.37 | 1/2                                            | 30        | 49        | 76        | 119       | 189       | 293   | 363   | 445   | 543   | 658   | 802   | 957   | 1 149 |
|                     | 0.37 | 1/2                                            | 122       | 198       | 311       | 491       | 765       | 1 183 | 1 466 | 1 792 | 2 185 | 2 658 | 0     | 0     | 0     |
|                     | 3/4  | 0.55                                           | 91        | 146       | 232       | 366       | 570       | 881   | 1 091 | 1 332 | 1 625 | 1 972 | 2 399 | 2 859 | 0     |
|                     | 1    | 0.75                                           | 76        | 122       | 192       | 302       | 469       | 725   | 902   | 1 100 | 1 344 | 1 634 | 1 987 | 2 371 | 2 850 |
|                     | 1.5  | 1.1                                            | 58        | 94        | 146       | 235       | 366       | 570   | 707   | 869   | 1 067 | 1 305 | 1 597 | 1 920 | 2323  |
| 230                 | 2    | 1.5                                            | 46        | 76        | 119       | 189       | 296       | 466   | 582   | 719   | 893   | 1 103 | 1 366 | 1 667 | 2 042 |
|                     | 3    | 2.2                                            | <b>37</b> | 58        | 91        | 143       | 229       | 363   | 454   | 564   | 707   | 881   | 1 100 | 1 362 | 1 692 |
|                     | 5    | 3.7                                            | 0         | <b>34</b> | 55        | 85        | 137       | 216   | 271   | 338   | 424   | 530   | 661   | 817   | 1 015 |
|                     | 7.5  | 5.5                                            | 0         | 0         | <b>37</b> | 61        | 94        | 149   | 186   | 229   | 283   | 347   | 430   | 524   | 640   |
|                     | 10   | 7.5                                            | 0         | 0         | 0         | <b>49</b> | 76        | 119   | 149   | 183   | 229   | 283   | 354   | 436   | 536   |
|                     | 15   | 11                                             | 0         | 0         | 0         | 0         | <b>52</b> | 82    | 104   | 131   | 162   | 201   | 250   | 311   | 384   |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante



Tabla 2.13 Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna

| kW   | h.p. | Tipo de inducción de jaula de ardilla y de rotor devanado (amperes) |           |           |           |           |           |            |            | Tipo sincrónico de factor de potencia unitario (amperes) |           |           |            |
|------|------|---------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|----------------------------------------------------------|-----------|-----------|------------|
|      |      | 115 volts                                                           | 200 volts | 208 volts | 230 volts | 460 volts | 575 volts | 2300 volts | 2300 volts | 230 volts                                                | 460 volts | 575 volts | 2300 volts |
| 0.37 | 1/2  | 4.4                                                                 | 2.5       | 2.4       | 2.2       | 1.1       | 0.9       | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 0.56 | 3/4  | 6.4                                                                 | 3.7       | 3.5       | 3.2       | 1.6       | 1.3       | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 0.75 | 1    | 8.4                                                                 | 4.8       | 4.6       | 4.2       | 2.1       | 1.7       | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 1.12 | 1 ½  | 12                                                                  | 6.9       | 6.6       | 6         | 3         | 2.4       | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 1.5  | 2    | 13.6                                                                | 7.8       | 7.5       | 6.8       | 3.4       | 2.7       | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 2.25 | 3    | —                                                                   | 11        | 10.6      | 9.6       | 4.8       | 3.9       | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 3.75 | 5    | —                                                                   | 17.5      | 16.7      | 15.2      | 7.6       | 6.1       | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 5.6  | 7 ½  | —                                                                   | 25.3      | 24.2      | 22        | 11        | 9         | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 7.5  | 10   | —                                                                   | 32.3      | 30.8      | 28        | 14        | 44        | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 11.2 | 15   | —                                                                   | 48.3      | 46.2      | 42        | 21        | 17        | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 14.9 | 20   | —                                                                   | 62.1      | 59.4      | 54        | 27        | 22        | —          | —          | —                                                        | —         | —         | —          |
| 18.7 | 25   | —                                                                   | 78.2      | 74.8      | 68        | 34        | 27        | —          | —          | 53                                                       | 26        | 21        | —          |
| 22.4 | 30   | —                                                                   | 92        | 88        | 80        | 40        | 32        | —          | —          | 63                                                       | 32        | 26        | —          |
| 29.8 | 40   | —                                                                   | 120       | 114       | 104       | 52        | 41        | —          | —          | 93                                                       | 41        | 33        | —          |
| 37.3 | 50   | —                                                                   | 150       | 143       | 130       | 65        | 52        | —          | —          | 104                                                      | 52        | 42        | —          |
| 44.8 | 60   | —                                                                   | 177       | 169       | 154       | 77        | 62        | 16         | 16         | 123                                                      | 61        | 49        | 12         |
| 56   | 75   | —                                                                   | 221       | 211       | 192       | 96        | 77        | 20         | 20         | 155                                                      | 78        | 62        | 15         |
| 75   | 100  | —                                                                   | 285       | 273       | 248       | 124       | 99        | 26         | 26         | 202                                                      | 101       | 81        | 20         |
| 93   | 125  | —                                                                   | 359       | 343       | 312       | 156       | 125       | 31         | 31         | 253                                                      | 126       | 101       | 25         |
| 112  | 150  | —                                                                   | 414       | 396       | 360       | 180       | 144       | 37         | 37         | 302                                                      | 151       | 121       | 30         |
| 150  | 200  | —                                                                   | 552       | 528       | 480       | 240       | 192       | 49         | 49         | 400                                                      | 201       | 161       | 40         |
| 187  | 250  | —                                                                   | —         | —         | —         | 302       | 242       | 60         | 60         | —                                                        | —         | —         | —          |
| 224  | 300  | —                                                                   | —         | —         | —         | 361       | 289       | 72         | 72         | —                                                        | —         | —         | —          |
| 261  | 350  | —                                                                   | —         | —         | —         | 414       | 336       | 83         | 83         | —                                                        | —         | —         | —          |
| 298  | 400  | —                                                                   | —         | —         | —         | 477       | 382       | 95         | 95         | —                                                        | —         | —         | —          |
| 336  | 450  | —                                                                   | —         | —         | —         | 515       | 412       | 103        | 103        | —                                                        | —         | —         | —          |
| 373  | 500  | —                                                                   | —         | —         | —         | 590       | 472       | 118        | 118        | —                                                        | —         | —         | —          |

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.14 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles. Tipo 4

| Tipo                | Capacidad del motor |      |       | Amps fusible o interruptores automáticos |      |    |    | Amps fusible o interruptores automáticos |    |    |  |
|---------------------|---------------------|------|-------|------------------------------------------|------|----|----|------------------------------------------|----|----|--|
|                     | kW                  | h.p. | volts | (Máximo según NEC)                       |      |    |    | (sumergible típico)                      |    |    |  |
| 4"                  | 0.37                | 1/2  | 200   | 10                                       | 5    | 8  | 10 | 4                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 230   | 8                                        | 4.5  | 6  | 8  | 4                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 380   | 5                                        | 2.5  | 4  | 5  | 2                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 460   | 4                                        | 2.25 | 3  | 4  | 2                                        | 15 | 15 |  |
|                     | 0.55                | 3/4  | 200   | 15                                       | 7    | 10 | 12 | 5                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 230   | 10                                       | 5.6  | 8  | 10 | 5                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 380   | 6                                        | 3.5  | 5  | 6  | 3                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 460   | 5                                        | 2.8  | 4  | 5  | 3                                        | 15 | 15 |  |
|                     | 0.75                | 1    | 200   | 15                                       | 8    | 15 | 15 | 6                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 230   | 15                                       | 7    | 10 | 12 | 6                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 380   | 8                                        | 4.5  | 8  | 8  | 4                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 460   | 6                                        | 3.5  | 5  | 6  | 3                                        | 15 | 15 |  |
|                     | 1.1                 | 1.5  | 200   | 20                                       | 12   | 15 | 20 | 8                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 230   | 15                                       | 9    | 15 | 15 | 8                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 380   | 10                                       | 5.6  | 8  | 10 | 4                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 460   | 8                                        | 4.5  | 8  | 8  | 4                                        | 15 | 15 |  |
|                     | 1.5                 | 2    | 575   | 6                                        | 3.5  | 5  | 6  | 3                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 200   | 25                                       | 15   | 20 | 25 | 11                                       | 20 | 20 |  |
|                     |                     |      | 230   | 25                                       | 12   | 20 | 25 | 10                                       | 20 | 20 |  |
|                     |                     |      | 380   | 15                                       | 8    | 15 | 15 | 6                                        | 15 | 15 |  |
| Fuente: fabricantes | 2.2                 | 3    | 460   | 15                                       | 6    | 10 | 11 | 5                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 575   | 10                                       | 5    | 8  | 10 | 4                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 200   | 35                                       | 20   | 30 | 35 | 15                                       | 30 | 30 |  |
|                     |                     |      | 230   | 30                                       | 17.5 | 25 | 30 | 12                                       | 25 | 25 |  |
|                     | 2.2                 | 3    | 380   | 20                                       | 12   | 15 | 20 | 8                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 460   | 15                                       | 9    | 15 | 15 | 6                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      | 575   | 15                                       | 7    | 10 | 11 | 5                                        | 15 | 15 |  |
|                     |                     |      |       |                                          |      |    |    |                                          |    |    |  |

Tabla 2.14 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 4). Continuación

| Tipo | Capacidad del motor |      |       | Amps fusible o interruptores automáticos |                                            |                        |  | Amps fusible o interruptores automáticos |                                            |                        |
|------|---------------------|------|-------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|--|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
|      |                     |      |       | (Máximo según NEC)                       |                                            |                        |  | (sumergible típico)                      |                                            |                        |
|      | kW                  | h.p. | volts | Fusible estándar                         | Fusible de doble elemento con temporizador | Interruptor automático |  | Fusible estándar                         | Fusible de doble elemento con temporizador | Interruptor automático |
| 4"   | 3.7                 | 5    | 200   | 60                                       | 35                                         | 50                     |  | 60                                       | 25                                         | 50                     |
|      |                     |      | 230   | 50                                       | 30                                         | 40                     |  | 45                                       | 20                                         | 40                     |
|      |                     |      | 380   | 30                                       | 17.5                                       | 25                     |  | 30                                       | 12                                         | 25                     |
|      |                     |      | 460   | 25                                       | 15                                         | 20                     |  | 25                                       | 10                                         | 20                     |
|      | 5.5                 | 7.5  | 575   | 20                                       | 12                                         | 20                     |  | 20                                       | 8                                          | 20                     |
|      |                     |      | 200   | 90                                       | 50                                         | 70                     |  | 80                                       | 35                                         | 70                     |
|      |                     |      | 230   | 80                                       | 45                                         | 60                     |  | 70                                       | 30                                         | 60                     |
|      |                     |      | 380   | 45                                       | 25                                         | 40                     |  | 40                                       | 20                                         | 40                     |
|      | 7.5                 | 10   | 460   | 40                                       | 25                                         | 30                     |  | 35                                       | 15                                         | 30                     |
|      |                     |      | 575   | 30                                       | 17.5                                       | 25                     |  | 30                                       | 12                                         | 25                     |
|      |                     |      | 380   | 70                                       | 35                                         | 60                     |  | 60                                       | 25                                         | 60                     |
|      |                     |      | 460   | 60                                       | 30                                         | 45                     |  | 50                                       | 25                                         | 45                     |
|      |                     |      | 575   | 45                                       | 25                                         | 35                     |  | 40                                       | 20                                         | 35                     |
|      |                     |      | 575   | 45                                       | 25                                         | 35                     |  | 40                                       | 20                                         | 35                     |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.15 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 6)

| Tipo | Capacidad del motor |      |       | Amps fusible o interruptores automáticos |                                            |                        |                  | Amps fusible o interruptores automáticos |                                            |                                            |                                            |
|------|---------------------|------|-------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
|      | Kw                  | h.p. | volts | (máximo según NEC)                       |                                            |                        | Fusible estándar | Fusible estándar                         | Fusible de doble elemento con temporizador | Fusible de doble elemento con temporizador | Interruptor automático (sumergible típico) |
|      |                     |      |       | Fusible estándar                         | Fusible de doble elemento con temporizador | Interruptor automático |                  |                                          |                                            |                                            |                                            |
| 6"   | 3.7                 | 5    | 200   | 60                                       | 35                                         | 45                     |                  | 50                                       | 25                                         | 45                                         |                                            |
|      |                     |      | 230   | 45                                       | 30                                         | 40                     |                  | 45                                       | 20                                         | 40                                         |                                            |
|      |                     |      | 380   | 30                                       | 17.5                                       | 25                     |                  | 30                                       | 12                                         | 25                                         |                                            |
|      |                     |      | 460   | 25                                       | 15                                         | 20                     |                  | 25                                       | 10                                         | 20                                         |                                            |
|      | 5.5                 | 7.5  | 575   | 20                                       | 12                                         | 15                     |                  | 20                                       | 8                                          | 15                                         |                                            |
|      |                     |      | 200   | 80                                       | 45                                         | 70                     |                  | 80                                       | 35                                         | 70                                         |                                            |
|      |                     |      | 230   | 70                                       | 40                                         | 60                     |                  | 70                                       | 30                                         | 60                                         |                                            |
|      |                     |      | 380   | 45                                       | 25                                         | 35                     |                  | 40                                       | 20                                         | 35                                         |                                            |
|      | 7.5                 | 10   | 460   | 35                                       | 20                                         | 30                     |                  | 35                                       | 15                                         | 30                                         |                                            |
|      |                     |      | 575   | 30                                       | 17.5                                       | 25                     |                  | 25                                       | 11                                         | 25                                         |                                            |
|      |                     |      | 200   | 100                                      | 60                                         | 90                     |                  | 100                                      | 45                                         | 90                                         |                                            |
|      |                     |      | 230   | 90                                       | 50                                         | 80                     |                  | 90                                       | 40                                         | 80                                         |                                            |
|      | 11                  | 15   | 380   | 60                                       | 35                                         | 45                     |                  | 50                                       | 25                                         | 45                                         |                                            |
|      |                     |      | 460   | 45                                       | 25                                         | 40                     |                  | 45                                       | 20                                         | 40                                         |                                            |
|      |                     |      | 575   | 35                                       | 20                                         | 30                     |                  | 35                                       | 15                                         | 30                                         |                                            |
|      |                     |      | 200   | 150                                      | 90                                         | 125                    |                  | 150                                      | 60                                         | 125                                        |                                            |
|      | 15                  | 20   | 230   | 150                                      | 80                                         | 110                    |                  | 125                                      | 60                                         | 110                                        |                                            |
|      |                     |      | 380   | 80                                       | 50                                         | 70                     |                  | 80                                       | 35                                         | 70                                         |                                            |
|      |                     |      | 460   | 70                                       | 40                                         | 60                     |                  | 60                                       | 30                                         | 60                                         |                                            |
|      |                     |      | 575   | 60                                       | 30                                         | 45                     |                  | 50                                       | 25                                         | 45                                         |                                            |
|      | 60                  | 80   | 200   | 200                                      | 110                                        | 175                    |                  | 175                                      | 80                                         | 175                                        |                                            |
|      |                     |      | 230   | 175                                      | 100                                        | 150                    |                  | 175                                      | 70                                         | 150                                        |                                            |
|      |                     |      | 380   | 100                                      | 60                                         | 90                     |                  | 100                                      | 45                                         | 90                                         |                                            |
|      |                     |      | 460   | 90                                       | 50                                         | 70                     |                  | 80                                       | 35                                         | 70                                         |                                            |
|      | 60                  | 80   | 575   | 70                                       | 40                                         | 60                     |                  | 70                                       | 30                                         | 60                                         |                                            |
|      |                     |      | 200   | 200                                      | 110                                        | 175                    |                  | 175                                      | 80                                         | 175                                        |                                            |
|      |                     |      | 230   | 175                                      | 100                                        | 150                    |                  | 175                                      | 70                                         | 150                                        |                                            |
|      |                     |      | 380   | 100                                      | 60                                         | 90                     |                  | 100                                      | 45                                         | 90                                         |                                            |
|      |                     |      | 460   | 90                                       | 50                                         | 70                     |                  | 80                                       | 35                                         | 70                                         |                                            |
|      | 60                  | 80   | 575   | 70                                       | 40                                         | 60                     |                  | 70                                       | 30                                         | 60                                         |                                            |

Tabla 2.15 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 6) (continuación)

| Tipo | Capacidad del motor |      |       | Amps fusible o interruptores automáticos |                    |     | Amps fusible o interruptores automáticos |                     |     |
|------|---------------------|------|-------|------------------------------------------|--------------------|-----|------------------------------------------|---------------------|-----|
|      | Kw                  | h.p. | volts | Fusible estándar                         | (máximo según NEC) |     | Fusible estándar                         | (sumergible típico) |     |
| 6"   | 18.5                | 25   | 200   | 250                                      | 150                | 200 | 225                                      | 100                 | 200 |
|      |                     |      | 230   | 225                                      | 125                | 175 | 200                                      | 90                  | 175 |
|      |                     |      | 380   | 125                                      | 80                 | 110 | 125                                      | 50                  | 110 |
|      |                     |      | 460   | 110                                      | 60                 | 90  | 100                                      | 45                  | 90  |
|      | 22                  | 30   | 575   | 90                                       | 50                 | 70  | 80                                       | 35                  | 70  |
|      |                     |      | 200   | 300                                      | 175                | 250 | 300                                      | 125                 | 250 |
|      |                     |      | 230   | 250                                      | 150                | 225 | 250                                      | 100                 | 200 |
|      |                     |      | 380   | 150                                      | 90                 | 125 | 150                                      | 60                  | 125 |
|      | 30                  | 40   | 460   | 125                                      | 70                 | 110 | 125                                      | 50                  | 100 |
|      |                     |      | 575   | 100                                      | 60                 | 90  | 100                                      | 40                  | 80  |
|      |                     |      | 380   | 200                                      | 125                | 175 | 200                                      | 90                  | 175 |
|      |                     |      | 460   | 175                                      | 100                | 150 | 175                                      | 70                  | 150 |
|      | 37                  | 50   | 575   | 150                                      | 80                 | 110 | 125                                      | 60                  | 110 |
|      |                     |      | 380   | 250                                      | 150                | 225 | 250                                      | 110                 | 225 |
|      |                     |      | 460   | 225                                      | 125                | 175 | 200                                      | 90                  | 175 |
|      |                     |      | 575   | 175                                      | 100                | 150 | 175                                      | 70                  | 150 |
|      | 45                  | 60   | 380   | 300                                      | 175                | 250 | 300                                      | 125                 | 250 |
|      |                     |      | 460   | 250                                      | 150                | 225 | 250                                      | 100                 | 225 |
|      |                     |      | 575   | 200                                      | 125                | 175 | 200                                      | 80                  | 175 |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.16 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 8)

| Tipo | Capacidad del motor |      |       | Amps fusible o interruptores automáticos |                                            |                        |                  | Amps fusible o interruptores automáticos |                                            |                        |
|------|---------------------|------|-------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------|
|      | kW                  | h.p. | volts | Fusible estándar                         | (máximo según NEC)                         |                        | Fusible estándar | Fusible estándar                         | (sumergible típico)                        |                        |
|      |                     |      |       |                                          | Fusible de doble elemento con temporizador | Interruptor automático |                  |                                          | Fusible de doble elemento con temporizador | Interruptor automático |
| 8"   | 30                  | 40   | 380   | 200                                      | 125                                        | 175                    | 200              | 200                                      | 80                                         | 175                    |
|      |                     |      | 460   | 175                                      | 100                                        | 150                    | 175              | 175                                      | 70                                         | 150                    |
|      |                     |      | 575   | 150                                      | 80                                         | 110                    | 125              | 125                                      | 60                                         | 110                    |
|      |                     |      | 380   | 250                                      | 150                                        | 200                    | 225              | 225                                      | 100                                        | 200                    |
|      | 37                  | 50   | 460   | 200                                      | 125                                        | 175                    | 200              | 200                                      | 80                                         | 175                    |
|      |                     |      | 575   | 175                                      | 90                                         | 150                    | 150              | 150                                      | 70                                         | 150                    |
|      |                     |      | 380   | 300                                      | 175                                        | 250                    | 300              | 300                                      | 125                                        | 250                    |
|      | 45                  | 60   | 460   | 250                                      | 150                                        | 200                    | 225              | 225                                      | 100                                        | 200                    |
|      |                     |      | 575   | 200                                      | 110                                        | 175                    | 175              | 175                                      | 80                                         | 175                    |
|      |                     |      | 380   | 350                                      | 200                                        | 300                    | 350              | 350                                      | 150                                        | 300                    |
|      | 55                  | 75   | 460   | 300                                      | 175                                        | 250                    | 300              | 300                                      | 125                                        | 250                    |
|      |                     |      | 575   | 250                                      | 150                                        | 200                    | 225              | 225                                      | 100                                        | 200                    |
|      | 75                  | 100  | 380   | 500                                      | 275                                        | 400                    | 450              | 450                                      | 200                                        | 400                    |
|      |                     |      | 460   | 400                                      | 225                                        | 350                    | 400              | 400                                      | 175                                        | 350                    |
|      |                     |      | 575   | 350                                      | 200                                        | 300                    | 300              | 300                                      | 125                                        | 300                    |
|      | 90                  | 125  | 380   | 700                                      | 400                                        | 600                    | 600              | 600                                      | 250                                        | 600                    |
|      |                     |      | 460   | 500                                      | 300                                        | 450                    | 500              | 500                                      | 225                                        | 450                    |
|      |                     |      | 575   | 450                                      | 250                                        | 350                    | 400              | 400                                      | 175                                        | 350                    |
| 8"   |                     |      | 380   | 800                                      | 450                                        | 600                    | 700              | 700                                      | 300                                        | 600                    |
|      | 110                 | 150  | 460   | 600                                      | 350                                        | 500                    | 600              | 600                                      | 250                                        | 500                    |
|      |                     |      | 575   | 500                                      | 300                                        | 400                    | 450              | 450                                      | 200                                        | 400                    |
|      |                     |      | 380   | 800                                      | 500                                        | 700                    | 800              | 800                                      | 350                                        | 700                    |
|      | 130                 | 175  | 460   | 700                                      | 400                                        | 600                    | 700              | 700                                      | 300                                        | 600                    |
|      |                     |      | 575   | 600                                      | 350                                        | 450                    | 600              | 600                                      | 225                                        | 450                    |
|      |                     |      | 380   | 1000                                     | 600                                        | 800                    | 1000             | 1000                                     | 400                                        | 800                    |
|      | 150                 | 200  | 460   | 800                                      | 450                                        | 700                    | 800              | 800                                      | 350                                        | 700                    |
|      |                     |      | 575   | 600                                      | 350                                        | 500                    | 600              | 600                                      | 250                                        | 500                    |
|      |                     |      |       |                                          |                                            |                        |                  |                                          |                                            |                        |
|      |                     |      |       |                                          |                                            |                        |                  |                                          |                                            |                        |
|      |                     |      |       |                                          |                                            |                        |                  |                                          |                                            |                        |
|      |                     |      |       |                                          |                                            |                        |                  |                                          |                                            |                        |
|      |                     |      |       |                                          |                                            |                        |                  |                                          |                                            |                        |
|      |                     |      |       |                                          |                                            |                        |                  |                                          |                                            |                        |
|      |                     |      |       |                                          |                                            |                        |                  |                                          |                                            |                        |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual de fabricante

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador

| Capacidad del motor                        |      |      | Aislamiento a 60 °C - calibre del cable de cobre AWG |           |           |           |           |           |            |            |            |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |       |
|--------------------------------------------|------|------|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| volts                                      | kW   | h.p. | 14                                                   | 12        | 10        | 8         | 6         | 4         | 3          | 2          | 1          | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250                            | 300   | 350   | 400   | 500   |
| 200 V<br>60Hz<br>Trifá-<br>sico 3<br>Hilos | 0.37 | 1/2  | 216                                                  | 347       | 549       | 866       | 1347      | 0         | 0          | 0          | 0          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 0.55 | 3/4  | 155                                                  | 247       | 390       | 619       | 963       | 0         | 0          | 0          | 0          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 0.75 | 1    | 131                                                  | 210       | 329       | 521       | 814       | 1 262     | 1 567      | 0          | 0          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 1.1  | 1.5  | 94                                                   | 152       | 241       | 384       | 597       | 930       | 1 152      | 0          | 0          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 1.5  | 2    | 73                                                   | 119       | 186       | 296       | 463       | 719       | 896        | 1 100      | 1 350      | 1 652 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 2.2  | 3    | 55                                                   | 88        | 143       | 226       | 354       | 552       | 686        | 841        | 1 033      | 1 259 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 3.7  | 5    | <b>34</b>                                            | 52        | 85        | 134       | 210       | 329       | 411        | 506        | 622        | 759   | 930   | 1 119 | 1 353 | 1 533                          | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 5.5  | 7.5  | 0                                                    | 0         | 61        | 94        | 149       | 235       | 293        | 360        | 442        | 539   | 661   | 792   | 960   | 1 085                          | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 7.5  | 10   | 0                                                    | 0         | 0         | <b>70</b> | 113       | 174       | 219        | 268        | 332        | 405   | 500   | 600   | 728   | 829                            | 945   | 1 061 | 1 158 | 1 347 |
|                                            | 11   | 15   | 0                                                    | 0         | 0         | <b>49</b> | <b>76</b> | 119       | 149        | 183        | 226        | 277   | 338   | 408   | 497   | 564                            | 640   | 716   | 783   | 908   |
|                                            | 15   | 20   | 0                                                    | 0         | 0         | 0         | <b>58</b> | <b>91</b> | 116        | 140        | 174        | 213   | 262   | 320   | 387   | 439                            | 503   | 564   | 616   | 719   |
|                                            | 18.5 | 25   | 0                                                    | 0         | 0         | 0         | 0         | <b>73</b> | 91         | <b>113</b> | 140        | 174   | 213   | 256   | 314   | 357                            | 405   | 457   | 500   | 579   |
| 230 V<br>60Hz<br>Trifá-<br>sico 3<br>Hilos | 22   | 30   | 0                                                    | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 76         | <b>94</b>  | <b>116</b> | 143   | 177   | 213   | 259   | 296                            | 338   | 381   | 415   | 485   |
|                                            | 0.37 | 1/2  | 283                                                  | 454       | 716       | 1 128     | 1 756     | 2 716     | 0          | 0          | 0          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 0.55 | 3/4  | 204                                                  | 329       | 518       | 786       | 1 277     | 1 978     | 2 457      | 3 005      | 0          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 0.75 | 1    | 171                                                  | 277       | 436       | 689       | 1 073     | 1 664     | 2 067      | 2 527      | 0          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 1.1  | 1.5  | 128                                                  | 204       | 323       | 509       | 796       | 1 234     | 1 533      | 1 878      | 2 295      | 2 795 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 1.5  | 2    | 98                                                   | 155       | 247       | 390       | 613       | 954       | 1 186      | 1 454      | 1 786      | 2 185 | 2 676 | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 2.2  | 3    | 73                                                   | 119       | 189       | 302       | 469       | 732       | 908        | 1 116      | 1 366      | 1 667 | 2 039 | 2 444 | 2 950 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                            | 3.7  | 5    | <b>43</b>                                            | 70        | 113       | 180       | 280       | 436       | 546        | 668        | 820        | 1 003 | 1 228 | 1 478 | 1 789 | 2 027                          | 2 304 | 2 579 | 2 810 | 0     |
|                                            | 5.5  | 7.5  | 0                                                    | <b>49</b> | 79        | 128       | 198       | 311       | 387        | 475        | 585        | 713   | 875   | 1 049 | 1 268 | 1 436                          | 1 628 | 1 820 | 1 981 | 2 289 |
|                                            | 7.5  | 10   | 0                                                    | 0         | <b>58</b> | 94        | 149       | 232       | 290        | 357        | 439        | 536   | 658   | 796   | 963   | 1 094                          | 1 250 | 1 402 | 1 530 | 1 780 |
|                                            | 11   | 15   | 0                                                    | 0         | 0         | <b>64</b> | 101       | 158       | 198        | 244        | 299        | 366   | 448   | 543   | 655   | 744                            | 847   | 948   | 1 036 | 1 201 |
|                                            | 15   | 20   | 0                                                    | 0         | 0         | 0         | <b>76</b> | 122       | 152        | 186        | 232        | 283   | 347   | 421   | 512   | 582                            | 664   | 747   | 817   | 951   |
|                                            | 18.5 | 25   | 0                                                    | 0         | 0         | 0         | 0         | <b>98</b> | 122        | 152        | 186        | 229   | 280   | 341   | 415   | 469                            | 536   | 604   | 658   | 768   |
|                                            | 22   | 30   | 0                                                    | 0         | 0         | 0         | 0         | <b>79</b> | <b>101</b> | <b>125</b> | 155        | 189   | 232   | 283   | 344   | 390                            | 448   | 503   | 549   | 643   |



Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

| Capacidad del motor                    |      | Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |       |
|----------------------------------------|------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| volts                                  | kW   | h.p.                                               | 14    | 12    | 10    | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250                            | 300   | 350   | 400   | 500   |
| 380 V<br>60 Hz<br>Trifásico 3<br>Hilos | 0.37 | 1/2                                                | 820   | 1 308 | 2 051 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.55 | 3/4                                                | 610   | 972   | 1 527 | 2 396 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.75 | 1                                                  | 494   | 786   | 1 237 | 1 948 | 3 042 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.1  | 1.5                                                | 375   | 600   | 945   | 1 490 | 2 326 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.5  | 2                                                  | 265   | 424   | 664   | 1 052 | 1 646 | 2 554 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 2.2  | 3                                                  | 207   | 332   | 521   | 820   | 1 280 | 1 981 | 2 444 | 2 996 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 3.7  | 5                                                  | 122   | 195   | 308   | 485   | 759   | 1 180 | 1 457 | 1 789 | 2 204 | 2 691 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 5.5  | 7.5                                                | 82    | 134   | 210   | 332   | 521   | 805   | 994   | 1 219 | 1 503 | 1 832 | 2 222 | 2 676 | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 7.5  | 10                                                 | 61    | 98    | 155   | 244   | 381   | 588   | 725   | 887   | 1 088 | 1 320 | 1 594 | 1 908 | 2 252 | 2 524                          | 2 847 | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 11   | 15                                                 | 0     | 0     | 113   | 180   | 280   | 436   | 539   | 661   | 820   | 1 003 | 1 219 | 1 475 | 1 759 | 1 987                          | 2 265 | 2 515 | 2 740 | 0     |
|                                        | 15   | 20                                                 | 0     | 0     | 0     | 134   | 213   | 332   | 411   | 509   | 628   | 771   | 942   | 1 146 | 1 372 | 1 558                          | 1 780 | 1 984 | 2 170 | 2 496 |
|                                        | 18.5 | 25                                                 | 0     | 0     | 0     | 110   | 174   | 268   | 335   | 411   | 509   | 625   | 765   | 927   | 1 109 | 1 259                          | 1 439 | 1 600 | 1 750 | 2 009 |
|                                        | 22   | 30                                                 | 0     | 0     | 0     | 0     | 143   | 223   | 277   | 341   | 421   | 518   | 634   | 768   | 920   | 1 045                          | 1 195 | 1 329 | 1 454 | 1 673 |
|                                        | 30   | 40                                                 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 162   | 201   | 250   | 308   | 378   | 463   | 561   | 671   | 762                            | 869   | 966   | 1 058 | 1 216 |
|                                        | 37   | 50                                                 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 165   | 201   | 250   | 305   | 372   | 451   | 539   | 613                            | 698   | 777   | 847   | 972   |
|                                        | 45   | 60                                                 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 171   | 210   | 259   | 314   | 381   | 457   | 518                            | 591   | 655   | 716   | 823   |
|                                        | 55   | 75                                                 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 174   | 213   | 262   | 320   | 387   | 439                            | 506   | 564   | 619   | 716   |
|                                        | 75   | 100                                                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 155   | 192   | 232   | 277   | 314                            | 360   | 399   | 436   | 503   |
| 460 V<br>60 Hz<br>Trifásico 3<br>Hilos | 90   | 125                                                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 189   | 226   | 256                            | 290   | 323   | 354   | 405   |
|                                        | 110  | 150                                                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 189   | 213                            | 241   | 268   | 293   | 332   |
|                                        | 130  | 175                                                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 198                            | 229   | 256   | 280   | 326   |
|                                        | 150  | 200                                                | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 192   | 213   | 232   | 268   |
|                                        | 0.37 | 1/2                                                | 1 149 | 1 835 | 2 883 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.55 | 3/4                                                | 832   | 1 326 | 2 088 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.75 | 1                                                  | 701   | 1 119 | 1 759 | 2 765 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.1  | 1.5                                                | 518   | 826   | 1 301 | 2 051 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.5  | 2                                                  | 396   | 631   | 997   | 1 570 | 2 454 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 2.2  | 3                                                  | 305   | 488   | 768   | 1 210 | 1 890 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 3.7  | 5                                                  | 180   | 290   | 457   | 719   | 1 128 | 1 753 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |

Tabla2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

| Capacidad del motor                         |      |      | Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |      |
|---------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|------|
| volts                                       | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10  | 8   | 6   | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250                            | 300   | 350   | 400   | 500  |
| 460 V<br>60 Hz<br>Trifá-<br>sico 3<br>Hilos | 5.5  | 7.5  | 128                                                | 207 | 326 | 515 | 805 | 1 250 | 1 554 | 1 908 | 2 341 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0    |
|                                             | 7.5  | 10   | 94                                                 | 152 | 241 | 381 | 597 | 930   | 1 158 | 1 426 | 1 753 | 2 149 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0    |
|                                             | 11   | 15   | 0                                                  | 104 | 165 | 259 | 408 | 637   | 792   | 975   | 1 198 | 1 466 | 1 798 | 2 167 | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0    |
|                                             | 15   | 20   | 0                                                  | 0   | 125 | 198 | 314 | 491   | 610   | 753   | 927   | 1 137 | 1 396 | 1 686 | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0    |
|                                             | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0   | 0   | 162 | 253 | 396   | 494   | 607   | 747   | 917   | 1 128 | 1 362 | 1 655 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0    |
|                                             | 22   | 30   | 0                                                  | 0   | 0   | 131 | 207 | 326   | 405   | 500   | 619   | 759   | 933   | 1 128 | 1 372 | 1 564                          | 1 786 | 0     | 0     | 0    |
|                                             | 30   | 40   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 152 | 241   | 299   | 369   | 454   | 558   | 686   | 826   | 1 003 | 1 137                          | 1 295 | 0     | 0     | 0    |
|                                             | 37   | 50   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 195   | 244   | 299   | 369   | 451   | 552   | 668   | 808   | 917                            | 1 042 | 1 167 | 1 274 | 1478 |
|                                             | 45   | 60   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 165   | 204   | 253   | 311   | 381   | 469   | 564   | 683   | 774                            | 881   | 988   | 1 079 | 1250 |
|                                             | 55   | 75   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 207   | 256   | 314   | 384   | 463   | 564   | 640                            | 732   | 823   | 899   | 1049 |
| 75                                          | 100  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 189   | 232   | 287   | 344   | 421   | 475   | 546                            | 613   | 668   | 777   |      |
| 90                                          | 125  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 226   | 271   | 305   | 372                            | 424   | 475   | 518   | 597  |
| 110                                         | 150  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 232   | 280   | 320                            | 363   | 408   | 445   | 515  |
| 130                                         | 175  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 247   | 283                            | 323   | 363   | 396   | 460  |
| 150                                         | 200  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 247                            | 280   | 314   | 344   | 399  |

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

| Capacidad del motor                    |      |      | Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |  |  |  |  |
|----------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|--|--|--|--|
| volts                                  | kW   | h.p. | 14                                                 | 12    | 10    | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250   | 300   | 350   | 400   | 500                            |  |  |  |  |
| 575 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>3 Hilos | 0.37 | 1/2  | 1 798                                              | 2 868 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 0.55 | 3/4  | 1 301                                              | 2 076 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 0.75 | 1    | 1 106                                              | 1 768 | 2 780 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 1.1  | 1.5  | 799                                                | 1 274 | 2 006 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 1.5  | 2    | 619                                                | 991   | 1 558 | 2 457 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 2.2  | 3    | 482                                                | 771   | 1 213 | 1 911 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 3.7  | 5    | 280                                                | 451   | 710   | 1 122 | 1 753 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 5.5  | 7.5  | 201                                                | 323   | 512   | 808   | 1 265 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 7.5  | 10   | 149                                                | 238   | 378   | 594   | 933   | 1 454 | 1 811 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 11   | 15   | 101                                                | 162   | 259   | 408   | 637   | 994   | 1 237 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 15   | 20   | 0                                                  | 125   | 198   | 314   | 491   | 768   | 957   | 1 177 | 1 451 | 1 777 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0     | 158   | 253   | 396   | 619   | 771   | 948   | 1 170 | 1 436 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 22   | 30   | 0                                                  | 0     | 131   | 207   | 326   | 509   | 634   | 780   | 963   | 1 183 | 1 454 | 1 762 | 2 143 | 2 438 | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 30   | 40   | 0                                                  | 0     | 0     | 152   | 241   | 378   | 469   | 579   | 710   | 872   | 1 070 | 1 289 | 1 567 | 1 777 | 0     | 0     | 0     | 0                              |  |  |  |  |
|                                        | 37   | 50   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 195   | 305   | 381   | 469   | 576   | 704   | 866   | 1 042 | 1 262 | 1 433 | 1 628 | 1 826 | 1 990 | 2 310                          |  |  |  |  |
| 45                                     | 60   | 0    | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 259   | 323   | 396   | 488   | 597   | 732   | 881   | 1 067 | 1 210 | 1 378 | 1 545 | 1 686 | 1 954 |                                |  |  |  |  |
| 55                                     | 75   | 0    | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 210   | 262   | 323   | 399   | 488   | 600   | 725   | 881   | 1 003 | 1 143 | 1 591 | 1 405 | 1 637 |                                |  |  |  |  |
| 75                                     | 100  | 0    | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 241   | 296   | 363   | 445   | 539   | 655   | 744   | 850   | 957   | 1 045 | 1 216 |                                |  |  |  |  |
| 90                                     | 125  | 0    | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 235   | 290   | 354   | 427   | 515   | 585   | 664   | 744   | 808   | 936   |                                |  |  |  |  |
| 110                                    | 150  | 0    | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 244   | 302   | 363   | 439   | 497   | 567   | 634   | 692   | 805   |                                |  |  |  |  |
| 130                                    | 175  | 0    | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 265   | 320   | 387   | 442   | 503   | 567   | 619   | 719   |                                |  |  |  |  |
| 150                                    | 200  | 0    | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 280   | 338   | 384   | 439   | 494   | 536   | 625   |                                |  |  |  |  |

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

| Capacidad del motor                                |      |      | Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | Calibre del cable de cobre MCM |            |       |       |       |
|----------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------------------------|------------|-------|-------|-------|
| volts                                              | kW   | h.p. | 14                                                 | 12         | 10         | 8          | 6          | 4          | 3          | 2          | 1          | 0          | 00         | 000        | 0000       | 250                            | 300        | 350   | 400   | 500   |
| 575 V<br>60 Hz<br>Trifá-<br>sico 3<br>Hilos        | 0.37 | 1/2  | 1 798                                              | 2 868      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 0.55 | 3/4  | 1 301                                              | 2 076      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 0.75 | 1    | 1 106                                              | 1 768      | 2 780      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 1.1  | 1.5  | 799                                                | 1 274      | 2 006      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 1.5  | 2    | 619                                                | 991        | 1 558      | 2 457      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 2.2  | 3    | 482                                                | 771        | 1 213      | 1 911      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 3.7  | 5    | 280                                                | 451        | 710        | 1 122      | 1 753      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 5.5  | 7.5  | 201                                                | 323        | 512        | 808        | 1 265      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 7.5  | 10   | 149                                                | 238        | 378        | 594        | 933        | 1 454      | 1 811      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 11   | 15   | <b>101</b>                                         | 162        | 259        | 408        | 637        | 994        | 1 237      | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 15   | 20   | 0                                                  | <b>125</b> | 198        | 314        | 491        | 768        | 957        | 1 177      | 1 451      | 1 777      | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0          | <b>158</b> | 253        | 396        | 619        | 771        | 948        | 1 170      | 1 436      | 0          | 0          | 0          | 0                              | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 22   | 30   | 0                                                  | 0          | <b>131</b> | 207        | 326        | 509        | 634        | 780        | 963        | 1 183      | 1 454      | 1 762      | 2 143      | 2 438                          | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 30   | 40   | 0                                                  | 0          | 0          | <b>152</b> | 241        | 378        | 469        | 579        | 710        | 872        | 1 070      | 1 289      | 1 567      | 1 777                          | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 37   | 50   | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | <b>195</b> | 305        | 381        | 469        | 576        | 704        | 866        | 1 042      | 1 262      | 1 433                          | 1 628      | 1 826 | 1 990 | 2 310 |
| 200 V<br>60 Hz<br>Trifási-<br>co<br>6 Hilos<br>Y-D | 45   | 60   | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>259</b> | 323        | 396        | 488        | 597        | 732        | 881        | 1 067      | 1 210                          | 1 378      | 1 545 | 1 686 | 1 954 |
|                                                    | 55   | 75   | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>210</b> | <b>262</b> | <b>323</b> | 399        | 488        | 600        | 725        | 881        | 1 003                          | 1 143      | 1 291 | 1 405 | 1 637 |
|                                                    | 75   | 100  | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>241</b> | <b>296</b> | <b>363</b> | 445        | 539        | 655        | 744                            | 850        | 957   | 1 045 | 1 216 |
|                                                    | 90   | 125  | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>235</b> | <b>290</b> | <b>354</b> | 427        | 515        | 585                            | 664        | 744   | 808   | 936   |
|                                                    | 110  | 150  | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>244</b> | <b>302</b> | <b>363</b> | 439        | 497                            | 567        | 634   | 692   | 805   |
|                                                    | 130  | 175  | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>265</b> | <b>320</b> | <b>387</b> | <b>442</b>                     | 503        | 567   | 619   | 719   |
|                                                    | 150  | 200  | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | <b>280</b> | <b>338</b> | <b>384</b>                     | <b>439</b> | 494   | 536   | 625   |
|                                                    | 3.7  | 5    | 49                                                 | 76         | 128        | 201        | 314        | 494        | 616        | 759        | 933        | 1 137      | 1 393      | 1 676      | 2 030      | 2 298                          | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 5.5  | 7.5  | 34                                                 | 55         | 91         | 140        | 223        | 351        | 439        | 539        | 661        | 808        | 991        | 1 189      | 1 439      | 1 628                          | 0          | 0     | 0     | 0     |
|                                                    | 7.5  | 10   | <b>24</b>                                          | 40         | 64         | 104        | 168        | 259        | 329        | 402        | 497        | 607        | 750        | 899        | 1 091      | 1 244                          | 1 417      | 1 591 | 1 737 | 2 021 |
|                                                    | 11   | 15   | 0                                                  | 0          | <b>43</b>  | 73         | 113        | 177        | 223        | 274        | 338        | 415        | 506        | 613        | 744        | 844                            | 960        | 1 073 | 1 173 | 1 362 |
|                                                    | 15   | 20   | 0                                                  | 0          | 0          | <b>52</b>  | 85         | 137        | 174        | 210        | 259        | 320        | 393        | 479        | 579        | 658                            | 753        | 844   | 924   | 1 079 |
|                                                    | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0          | 0          | <b>43</b>  | <b>67</b>  | 110        | 137        | 168        | 210        | 259        | 320        | 384        | 469        | 533                            | 607        | 686   | 750   | 869   |
|                                                    | 22   | 30   | 0                                                  | 0          | 0          | 0          | <b>55</b>  | 90         | 113        | 140        | 174        | 213        | 265        | 320        | 387        | 442                            | 506        | 570   | 622   | 725   |

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

| Capacidad del motor                           |      |      | Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |  |  |
|-----------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|--|--|
| volts                                         | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10  | 8   | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250   | 300   | 350                            | 400   | 500   |  |  |
| 230 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 3.7  | 5    | 64                                                 | 104 | 168 | 268 | 421   | 652   | 817   | 1 000 | 1 228 | 1 503 | 1 841 | 2 216 | 2 682 | 3 039 | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 5.5  | 7.5  | 46                                                 | 73  | 119 | 192 | 296   | 466   | 579   | 713   | 878   | 1 070 | 1 311 | 1 573 | 1 902 | 2 152 | 2 441 | 2 728                          | 2 972 | 0     |  |  |
|                                               | 7.5  | 10   | 34                                                 | 55  | 85  | 140 | 223   | 347   | 433   | 533   | 658   | 805   | 988   | 1 192 | 1 445 | 1 640 | 1 875 | 2 103                          | 2 295 | 2 670 |  |  |
|                                               | 11   | 15   | 0                                                  | 0   | 58  | 94  | 149   | 238   | 296   | 366   | 448   | 549   | 671   | 814   | 981   | 1 116 | 1 271 | 1 420                          | 1 554 | 1 801 |  |  |
|                                               | 15   | 20   | 0                                                  | 0   | 43  | 70  | 113   | 183   | 229   | 277   | 347   | 424   | 521   | 631   | 768   | 872   | 997   | 1 119                          | 1 225 | 1 426 |  |  |
|                                               | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0   | 0   | 58  | 91    | 146   | 183   | 229   | 277   | 341   | 421   | 512   | 622   | 704   | 805   | 905                            | 988   | 1 152 |  |  |
|                                               | 22   | 30   | 0                                                  | 0   | 0   | 46  | 73    | 119   | 149   | 186   | 232   | 283   | 347   | 424   | 515   | 585   | 671   | 753                            | 823   | 963   |  |  |
|                                               | 3.7  | 5    | 183                                                | 293 | 460 | 725 | 1 137 | 1 768 | 2 185 | 2 682 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 5.5  | 7.5  | 122                                                | 201 | 314 | 497 | 780   | 1 207 | 1 490 | 1 829 | 2 252 | 2 746 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 7.5  | 10   | 91                                                 | 146 | 232 | 366 | 570   | 881   | 1 088 | 1 329 | 1 631 | 1 978 | 2 390 | 2 862 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
| 380 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 11   | 15   | 64                                                 | 104 | 168 | 268 | 421   | 652   | 808   | 991   | 1 228 | 1 503 | 1 829 | 2 213 | 2 637 | 2 981 | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 15   | 20   | 49                                                 | 79  | 125 | 201 | 320   | 497   | 616   | 762   | 942   | 1 155 | 1 411 | 1 719 | 2 057 | 2 335 | 1 298 | 2 975                          | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 18.5 | 25   | 0                                                  | 64  | 101 | 165 | 259   | 402   | 503   | 616   | 762   | 936   | 1 146 | 1 390 | 1 664 | 1 887 | 2 158 | 2 399                          | 2 624 | 3 011 |  |  |
|                                               | 22   | 30   | 0                                                  | 0   | 82  | 131 | 213   | 332   | 415   | 512   | 631   | 777   | 951   | 1 152 | 1 381 | 1 567 | 1 792 | 1 993                          | 2 179 | 2 509 |  |  |
|                                               | 30   | 40   | 0                                                  | 0   | 0   | 98  | 155   | 241   | 302   | 375   | 460   | 567   | 695   | 841   | 1 006 | 1 143 | 1 301 | 1 448                          | 1 585 | 1 823 |  |  |
|                                               | 37   | 50   | 0                                                  | 0   | 0   | 76  | 122   | 192   | 247   | 302   | 375   | 457   | 558   | 677   | 808   | 917   | 1 045 | 1 164                          | 1 271 | 1 457 |  |  |
|                                               | 45   | 60   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 104   | 165   | 201   | 256   | 314   | 387   | 469   | 570   | 686   | 777   | 887   | 981                            | 1 073 | 1 234 |  |  |
|                                               | 55   | 75   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 137   | 168   | 210   | 261   | 320   | 393   | 479   | 579   | 658   | 759   | 844                            | 927   | 1 073 |  |  |
|                                               | 75   | 100  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 128   | 158   | 195   | 232   | 287   | 347   | 415   | 469   | 539   | 597                            | 652   | 753   |  |  |
|                                               | 90   | 125  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 122   | 149   | 183   | 223   | 283   | 338   | 384   | 433   | 485                            | 530   | 607   |  |  |
|                                               | 110  | 150  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 128   | 155   | 189   | 229   | 283   | 320   | 360   | 402                            | 439   | 497   |  |  |
|                                               | 130  | 175  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 110   | 134   | 165   | 201   | 238   | 296   | 341   | 384                            | 421   | 488   |  |  |
|                                               | 150  | 200  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 146   | 177   | 210   | 241   | 287   | 320                            | 347   | 402   |  |  |

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

| Capacidad del motor                           |      |      | Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| volts                                         | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10  | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000                           | 250   | 300   | 350   | 400   | 500   |
| 460 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 3.7  | 5    | 268                                                | 433 | 686 | 1 079 | 1 692 | 2 627 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 5.5  | 7.5  | 192                                                | 311 | 488 | 771   | 1 207 | 1 875 | 2 332 | 2 862 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 7.5  | 10   | 140                                                | 229 | 360 | 570   | 896   | 1 393 | 1 737 | 2 140 | 2 627 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 11   | 15   | 94                                                 | 155 | 247 | 387   | 613   | 954   | 1 189 | 1 463 | 1 795 | 2 198 | 2 697 | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 15   | 20   | 70                                                 | 116 | 186 | 296   | 469   | 735   | 914   | 1 128 | 1 390 | 1 704 | 2 094 | 2 527 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 18.5 | 25   | 58                                                 | 94  | 149 | 241   | 378   | 594   | 741   | 908   | 1 119 | 1 375 | 1 692 | 2 042 | 2 481                          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 22   | 30   | 0                                                  | 76  | 125 | 195   | 311   | 488   | 607   | 750   | 927   | 1 137 | 1399  | 1 692 | 2 057                          | 2 344 | 2 679 | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 30   | 40   | 0                                                  | 0   | 91  | 146   | 229   | 360   | 448   | 552   | 680   | 835   | 1 027 | 1 237 | 1 503                          | 1 704 | 1 942 | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 37   | 50   | 0                                                  | 0   | 0   | 113   | 180   | 293   | 366   | 448   | 552   | 677   | 826   | 1 000 | 1 210                          | 1 375 | 1 564 | 1 750 | 1 911 | 2 216 |
|                                               | 45   | 60   | 0                                                  | 0   | 0   | 98    | 152   | 247   | 305   | 378   | 466   | 570   | 704   | 844   | 1 024                          | 1 161 | 1 320 | 1 481 | 1 618 | 1 875 |
| 55                                            | 75   | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 128   | 201   | 247   | 311   | 384   | 469   | 576   | 695   | 844   | 960                            | 1 097 | 1 234 | 1 347 | 1 573 |       |
| 75                                            | 100  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 152   | 186   | 232   | 283   | 347   | 430   | 515   | 631                            | 713   | 817   | 917   | 1 000 | 1 164 |
| 90                                            | 125  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 143   | 180   | 223   | 268   | 338   | 405   | 457                            | 558   | 634   | 713   | 777   | 896   |
| 110                                           | 150  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 155   | 192   | 235   | 290   | 347   | 421                            | 479   | 546   | 610   | 664   | 771   |
| 130                                           | 175  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 168   | 207   | 253   | 305   | 372                            | 424   | 482   | 543   | 594   | 692   |
| 150                                           | 200  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 180   | 223   | 268   | 326                            | 369   | 421   | 472   | 515   | 600   |

Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador (continuación)

| Capacidad del motor                           |      |      | Aislamiento a 60 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Calibre del cable de cobre MCM |      |      |      |  |
|-----------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------|------|------|------|--|
| volts                                         | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10   | 8    | 6    | 4    | 3    | 2    | 1    | 0    | 00   | 000  | 0000 | 250  | 300                            | 350  | 400  | 500  |  |
| 575 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 3.7  | 5    | 421                                                | 677 | 1064 | 1682 | 2627 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 5.5  | 7.5  | 302                                                | 485 | 768  | 1210 | 1896 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 7.5  | 10   | 223                                                | 357 | 567  | 890  | 1399 | 2179 | 2716 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 11   | 15   | 149                                                | 241 | 387  | 613  | 954  | 1490 | 1856 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 15   | 20   | 113                                                | 186 | 296  | 469  | 735  | 1152 | 1436 | 1765 | 2176 | 2664 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 18.5 | 25   | 91                                                 | 149 | 238  | 378  | 594  | 927  | 1155 | 1420 | 1756 | 2152 | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 22   | 30   | 73                                                 | 122 | 197  | 311  | 488  | 762  | 951  | 1170 | 1445 | 1774 | 2179 | 2643 | 0    | 0    | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 30   | 40   | 0                                                  | 91  | 146  | 229  | 360  | 567  | 704  | 869  | 1064 | 1308 | 1603 | 1932 | 2350 | 2664 | 0                              | 0    | 0    | 0    |  |
|                                               | 37   | 50   | 0                                                  | 0   | 116  | 180  | 293  | 457  | 570  | 704  | 863  | 1055 | 1298 | 1564 | 1893 | 2149 | 2441                           | 2737 | 2984 | 0    |  |
|                                               | 45   | 60   | 0                                                  | 0   | 0    | 152  | 241  | 387  | 485  | 594  | 732  | 896  | 1097 | 1320 | 1600 | 1814 | 2067                           | 2316 | 2527 | 2929 |  |
|                                               | 55   | 75   | 0                                                  | 0   | 0    | 128  | 201  | 314  | 393  | 485  | 597  | 732  | 899  | 1088 | 1320 | 1503 | 1713                           | 1929 | 2106 | 2454 |  |
|                                               | 75   | 100  | 0                                                  | 0   | 0    | 0    | 122  | 238  | 293  | 360  | 442  | 543  | 668  | 808  | 981  | 1116 | 1274                           | 1436 | 1567 | 1823 |  |
|                                               | 90   | 125  | 0                                                  | 0   | 0    | 0    | 0    | 183  | 226  | 280  | 351  | 433  | 530  | 640  | 771  | 878  | 997                            | 1116 | 1210 | 1402 |  |
|                                               | 110  | 150  | 0                                                  | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 198  | 244  | 302  | 369  | 451  | 543  | 658  | 747  | 850                            | 951  | 1039 | 1204 |  |
|                                               | 130  | 175  | 0                                                  | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 213  | 262  | 323  | 396  | 479  | 582  | 661  | 756                            | 847  | 927  | 1079 |  |
|                                               | 150  | 200  | 0                                                  | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 232  | 283  | 347  | 418  | 509  | 576  | 658                            | 738  | 805  | 936  |  |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise manual de fabricante.

Las longitudes en NEGRITAS cumplen con el amperaje del U.S. National Electrical Code sólo para cable de conductor individual, en aire libre o agua. Las longitudes que NO están en negritas cumplen con el amperaje del NEC para los conductores individuales o cable forrado.



Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros

| Capacidad del motor                    |      |      | Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |       |
|----------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| volts                                  | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10  | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250                            | 300   | 350   | 400   | 500   |
| 200 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>3 Hilos | 0.37 | 1/2  | 216                                                | 347 | 549 | 866   | 1347  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.55 | 3/4  | 155                                                | 247 | 390 | 619   | 963   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.75 | 1    | 131                                                | 210 | 329 | 521   | 814   | 1 262 | 1 567 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.1  | 1.5  | 94                                                 | 152 | 241 | 384   | 597   | 930   | 1 152 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.5  | 2    | 73                                                 | 119 | 186 | 296   | 463   | 719   | 896   | 1 100 | 1 350 | 1 652 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 2.2  | 3    | 55                                                 | 88  | 143 | 226   | 354   | 552   | 686   | 841   | 1 033 | 1 259 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 3.7  | 5    | 34                                                 | 52  | 85  | 134   | 210   | 329   | 411   | 506   | 622   | 759   | 930   | 1 119 | 1 353 | 1 533                          | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 5.5  | 7.5  | 0                                                  | 0   | 61  | 94    | 149   | 235   | 293   | 360   | 442   | 539   | 661   | 792   | 960   | 1 085                          | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 7.5  | 10   | 0                                                  | 0   | 46  | 70    | 113   | 174   | 219   | 268   | 332   | 405   | 500   | 600   | 728   | 829                            | 945   | 1 061 | 1 158 | 1 347 |
|                                        | 11   | 15   | 0                                                  | 0   | 0   | 49    | 76    | 119   | 149   | 183   | 226   | 277   | 338   | 408   | 497   | 564                            | 640   | 716   | 783   | 908   |
| 230 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>3 Hilos | 15   | 20   | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 58    | 91    | 116   | 140   | 174   | 213   | 262   | 320   | 387   | 439                            | 503   | 564   | 616   | 719   |
|                                        | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 73    | 91    | 113   | 140   | 174   | 213   | 256   | 314   | 357                            | 405   | 457   | 500   | 579   |
|                                        | 22   | 30   | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 61    | 76    | 94    | 116   | 143   | 177   | 213   | 259   | 296                            | 338   | 381   | 415   | 485   |
|                                        | 0.37 | 1/2  | 283                                                | 454 | 716 | 1 128 | 1 756 | 2 716 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.55 | 3/4  | 204                                                | 329 | 518 | 786   | 1 277 | 1 978 | 2 457 | 3 005 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 0.75 | 1    | 171                                                | 277 | 436 | 689   | 1 073 | 1 664 | 2 067 | 2 527 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.1  | 1.5  | 128                                                | 204 | 323 | 509   | 796   | 1 234 | 1 533 | 1 878 | 2 295 | 2 795 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 1.5  | 2    | 98                                                 | 155 | 247 | 390   | 613   | 954   | 1 186 | 1 454 | 1 786 | 2 185 | 2 676 | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 2.2  | 3    | 73                                                 | 119 | 189 | 302   | 469   | 732   | 908   | 1 116 | 1 366 | 1 667 | 2 039 | 2 444 | 2 950 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                        | 3.7  | 5    | 43                                                 | 70  | 113 | 180   | 280   | 436   | 546   | 668   | 820   | 1 003 | 1 228 | 1 478 | 1 789 | 2 027                          | 2 304 | 2 579 | 2 810 | 0     |
| 18.5                                   | 5.5  | 7.5  | 0                                                  | 49  | 79  | 128   | 198   | 311   | 387   | 475   | 585   | 713   | 875   | 1 049 | 1 268 | 1 436                          | 1 628 | 1 820 | 1 981 | 2 289 |
|                                        | 0.75 | 10   | 0                                                  | 0   | 58  | 94    | 149   | 232   | 290   | 357   | 439   | 536   | 658   | 796   | 963   | 1 094                          | 1 250 | 1 402 | 1 530 | 1 780 |
|                                        | 11   | 15   | 0                                                  | 0   | 0   | 64    | 101   | 158   | 198   | 244   | 299   | 366   | 448   | 543   | 655   | 744                            | 847   | 948   | 1 036 | 1 201 |
|                                        | 15   | 20   | 0                                                  | 0   | 0   | 49    | 76    | 122   | 152   | 186   | 232   | 283   | 347   | 421   | 512   | 582                            | 664   | 747   | 817   | 951   |
|                                        | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 61    | 98    | 122   | 152   | 186   | 229   | 280   | 341   | 415   | 469                            | 536   | 604   | 658   | 768   |
| 22                                     | 30   | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 79    | 101   | 125   | 155   | 189   | 232   | 283   | 344   | 390                            | 448   | 503   | 549   | 643   |

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

| Capacidad del motor                    |      | Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |       |       |     |
|----------------------------------------|------|----------------------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| volts                                  | kW   | h.p.                                               | 14  | 12    | 10    | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000                           | 250   | 300   | 350   | 400   | 500   |     |
| 380 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>3 Hilos | 0.37 | 1/2                                                | 820 | 1 308 | 2 051 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 0.55 | 3/4                                                | 610 | 972   | 1 527 | 2 396 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 0.75 | 1                                                  | 494 | 786   | 1 237 | 1 948 | 3 042 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 1.1  | 1.5                                                | 375 | 600   | 945   | 1 490 | 2 326 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 1.5  | 2                                                  | 265 | 424   | 664   | 1 052 | 1 646 | 2 554 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 2.2  | 3                                                  | 207 | 332   | 521   | 820   | 1 280 | 1 981 | 2 444 | 2 996 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 3.7  | 5                                                  | 122 | 195   | 308   | 485   | 759   | 1 180 | 1 457 | 1 789 | 2 204 | 2 691 | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 5.5  | 7.5                                                | 82  | 134   | 210   | 332   | 521   | 805   | 994   | 1 219 | 1 503 | 1 832 | 2 222 | 2 676 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 7.5  | 10                                                 | 61  | 98    | 155   | 244   | 381   | 588   | 725   | 887   | 1 088 | 1 320 | 1 594 | 1 908 | 2 252                          | 2 524 | 2 847 | 0     | 0     | 0     |     |
|                                        | 11   | 15                                                 | 0   | 0     | 113   | 180   | 280   | 436   | 539   | 661   | 820   | 1 003 | 1 219 | 1 475 | 1 759                          | 1 987 | 2 265 | 2 515 | 2 740 | 0     |     |
|                                        | 15   | 20                                                 | 0   | 0     | 85    | 134   | 213   | 332   | 411   | 509   | 628   | 771   | 942   | 1 146 | 1 372                          | 1 558 | 866   | 1 984 | 2 170 | 2 496 |     |
|                                        | 18.5 | 25                                                 | 0   | 0     | 0     | 110   | 174   | 268   | 335   | 411   | 509   | 625   | 765   | 927   | 1 109                          | 1 259 | 1 439 | 1 600 | 1 750 | 2 009 |     |
|                                        | 22   | 30                                                 | 0   | 0     | 0     | 88    | 143   | 223   | 277   | 341   | 421   | 518   | 634   | 768   | 920                            | 1 045 | 1 195 | 1 329 | 1 454 | 1 673 |     |
|                                        | 30   | 40                                                 | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 162   | 201   | 250   | 308   | 378   | 463   | 561   | 671                            | 762   | 869   | 966   | 1 058 | 1 216 |     |
|                                        | 37   | 50                                                 | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 134   | 165   | 201   | 250   | 305   | 372   | 451   | 539                            | 613   | 698   | 777   | 847   | 972   |     |
|                                        | 45   | 60                                                 | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 113   | 140   | 171   | 210   | 259   | 314   | 381   | 457                            | 518   | 591   | 655   | 716   | 823   |     |
|                                        | 55   | 75                                                 | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 140   | 174   | 213   | 262   | 320                            | 387   | 439   | 506   | 564   | 619   | 716 |
|                                        | 75   | 100                                                | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 128   | 155   | 192   | 232                            | 277   | 314   | 360   | 399   | 436   | 503 |
|                                        | 90   | 125                                                | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 155   | 189   | 226                            | 256   | 290   | 323   | 354   | 405   |     |
|                                        | 110  | 150                                                | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 158   | 189                            | 213   | 241   | 268   | 293   | 332   |     |
|                                        | 130  | 175                                                | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 171                            | 198   | 229   | 256   | 280   | 326   |     |
|                                        | 150  | 200                                                | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 168   | 192   | 213   | 232   | 268   |     |

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

| Capacidad del motor                    |      |      | Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| volts                                  | kW   | h.p. | 14                                                 | 12    | 10    | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000                           | 250   | 300   | 350   | 400   | 500   |       |
| 460 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>3 Hilos | 0.37 | 1/2  | 1 149                                              | 1 835 | 2 883 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 0.55 | 3/4  | 832                                                | 1 326 | 2 088 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 0.75 | 1    | 701                                                | 1 119 | 1 759 | 2 765 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 1.1  | 1.5  | 518                                                | 826   | 1 301 | 2 051 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 1.5  | 2    | 396                                                | 631   | 997   | 1 570 | 2 454 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 2.2  | 3    | 305                                                | 488   | 768   | 1 210 | 1 890 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 3.7  | 5    | 180                                                | 290   | 457   | 719   | 1 128 | 1 753 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 5.5  | 7.5  | 128                                                | 207   | 326   | 515   | 805   | 1 250 | 1 554 | 1 908 | 2 341 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 7.5  | 10   | 94                                                 | 152   | 241   | 381   | 597   | 930   | 1 158 | 1 426 | 1 753 | 2 149 | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 11   | 15   | 0                                                  | 104   | 165   | 259   | 408   | 637   | 792   | 975   | 1 198 | 1 466 | 1 798 | 2 167 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 15   | 20   | 0                                                  | 0     | 125   | 198   | 314   | 491   | 610   | 753   | 927   | 1 137 | 1 396 | 1 686 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0     | 101   | 162   | 253   | 396   | 494   | 607   | 747   | 917   | 1 128 | 1 362 | 1 655                          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 22   | 30   | 0                                                  | 0     | 82    | 131   | 207   | 326   | 405   | 500   | 619   | 759   | 933   | 1 128 | 1 372                          | 1 564 | 1 786 | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 30   | 40   | 0                                                  | 0     | 0     | 98    | 152   | 241   | 299   | 369   | 454   | 558   | 686   | 826   | 1 003                          | 1 137 | 1 295 | 0     | 0     | 0     |       |
|                                        | 37   | 50   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 125   | 195   | 244   | 299   | 369   | 451   | 552   | 668   | 808                            | 917   | 1 042 | 1 167 | 1 274 | 1 478 |       |
|                                        | 45   | 60   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 165   | 204   | 253   | 311   | 381   | 469   | 564   | 683                            | 774   | 881   | 988   | 1 079 | 1 250 |       |
|                                        | 55   | 75   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 134   | 168   | 207   | 256   | 314   | 384   | 463                            | 564   | 640   | 732   | 823   | 899   | 1 049 |
|                                        | 75   | 100  | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 152   | 189   | 232   | 287   | 344                            | 421   | 475   | 546   | 613   | 668   | 777   |
|                                        | 90   | 125  | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 183   | 226   | 271                            | 305   | 372   | 424   | 475   | 518   | 597   |
|                                        | 110  | 150  | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 192   | 232                            | 280   | 320   | 363   | 408   | 445   | 515   |
|                                        | 130  | 175  | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 204                            | 247   | 283   | 323   | 363   | 396   | 460   |
|                                        | 150  | 200  | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 180                            | 216   | 247   | 280   | 314   | 344   | 399   |

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

| Capacidad del motor                    |      |     | Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |  |
|----------------------------------------|------|-----|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|--|
| volts                                  | kW   | h.p | 14                                                 | 12    | 10    | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250   | 300                            | 350   | 400   | 500   |  |
| 575 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>3 Hilos | 0.37 | 1/2 | 1 798                                              | 2 868 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 0.55 | 3/4 | 1 301                                              | 2 076 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 0.75 | 1   | 1 106                                              | 1 768 | 2 780 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 1.1  | 1.5 | 799                                                | 1 274 | 2 006 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 1.5  | 2   | 619                                                | 991   | 1 558 | 2 457 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 2.2  | 3   | 482                                                | 771   | 1 213 | 1 911 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 3.7  | 5   | 280                                                | 451   | 710   | 1 122 | 1 753 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 5.5  | 7.5 | 201                                                | 323   | 512   | 808   | 1 265 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 7.5  | 10  | 149                                                | 238   | 378   | 594   | 933   | 1 454 | 1 811 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 11   | 15  | 101                                                | 162   | 259   | 408   | 637   | 994   | 1 237 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 15   | 20  | 0                                                  | 125   | 198   | 314   | 491   | 768   | 957   | 1 177 | 1 451 | 1 777 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 18.5 | 25  | 0                                                  | 0     | 158   | 253   | 396   | 619   | 771   | 948   | 1 170 | 1 436 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 22   | 30  | 0                                                  | 0     | 131   | 207   | 326   | 509   | 634   | 780   | 963   | 1 183 | 1 454 | 1 762 | 2 143 | 2 438 | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 30   | 40  | 0                                                  | 0     | 0     | 152   | 241   | 378   | 469   | 579   | 710   | 872   | 1 070 | 1 289 | 1 567 | 1 777 | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
|                                        | 37   | 50  | 0                                                  | 0     | 0     | 125   | 195   | 305   | 381   | 469   | 576   | 704   | 866   | 1 042 | 1 262 | 1 433 | 1 628                          | 1 826 | 1 990 | 2 310 |  |
|                                        | 45   | 60  | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 165   | 259   | 323   | 396   | 488   | 597   | 732   | 881   | 1 067 | 1 210 | 1 378                          | 1 545 | 1 686 | 1 954 |  |
| 55                                     | 75   | 0   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 210   | 262   | 323   | 399   | 488   | 600   | 725   | 881   | 1 003 | 1 143 | 1 591                          | 1 405 | 1 637 |       |  |
| 75                                     | 100  | 0   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 195   | 241   | 296   | 363   | 445   | 539   | 655   | 744   | 850                            | 957   | 1 045 | 1 216 |  |
| 90                                     | 125  | 0   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 192   | 235   | 290   | 354   | 427   | 515   | 585   | 664                            | 744   | 808   | 936   |  |
| 110                                    | 150  | 0   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 201   | 244   | 302   | 363   | 439   | 497   | 567                            | 634   | 692   | 805   |  |
| 130                                    | 175  | 0   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 213   | 265   | 320   | 387   | 442   | 503   | 567                            | 619   | 719   |       |  |
| 150                                    | 200  | 0   | 0                                                  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 213   | 265   | 320   | 387   | 442   | 503                            | 567   | 619   | 719   |  |
| 3.7                                    | 5    | 49  | 76                                                 | 128   | 201   | 314   | 494   | 616   | 759   | 933   | 1 137 | 1 393 | 1 676 | 2 030 | 2 298 | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
| 5.5                                    | 7.5  | 34  | 55                                                 | 91    | 140   | 223   | 351   | 439   | 539   | 661   | 808   | 991   | 1 189 | 1 439 | 1 628 | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     |  |
| 7.5                                    | 10   | 24  | 40                                                 | 64    | 104   | 168   | 259   | 329   | 402   | 497   | 607   | 750   | 899   | 1 091 | 1 244 | 1 417 | 1 591                          | 1 737 | 2 021 |       |  |
| 11                                     | 15   | 0   | 0                                                  | 43    | 73    | 113   | 177   | 223   | 274   | 338   | 415   | 506   | 613   | 744   | 844   | 960   | 1 073                          | 1 173 | 1 362 |       |  |
| 15                                     | 20   | 0   | 0                                                  | 37    | 52    | 85    | 137   | 174   | 210   | 259   | 320   | 393   | 479   | 579   | 658   | 753   | 844                            | 924   | 1 079 |       |  |
| 18.5                                   | 25   | 0   | 0                                                  | 0     | 43    | 67    | 110   | 137   | 168   | 210   | 259   | 320   | 384   | 469   | 533   | 607   | 686                            | 750   | 869   |       |  |
| 22                                     | 30   | 0   | 0                                                  | 0     | 0     | 37    | 55    | 90    | 113   | 140   | 174   | 213   | 265   | 320   | 387   | 442   | 506                            | 570   | 622   | 725   |  |

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

| Capacidad del motor                           |      |      | Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |  |  |
|-----------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|--|--|
| volts                                         | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10  | 8   | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250   | 300   | 350                            | 400   | 500   |  |  |
| 230 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 3.7  | 5    | 64                                                 | 104 | 168 | 268 | 421   | 652   | 817   | 1 000 | 1 228 | 1503  | 1 841 | 2 216 | 2 682 | 3 039 | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 5.5  | 7.5  | 46                                                 | 73  | 119 | 192 | 296   | 466   | 579   | 713   | 878   | 1070  | 1 311 | 1 573 | 1 902 | 2 152 | 2 441 | 2 728                          | 2 972 | 0     |  |  |
|                                               | 7.5  | 10   | 34                                                 | 55  | 85  | 140 | 223   | 347   | 433   | 533   | 658   | 805   | 988   | 1 192 | 1 445 | 1 640 | 1 875 | 2 103                          | 2 295 | 2 670 |  |  |
|                                               | 11   | 15   | 0                                                  | 40  | 58  | 94  | 149   | 238   | 296   | 366   | 448   | 549   | 671   | 814   | 981   | 1 116 | 1 271 | 1 420                          | 1 554 | 1 801 |  |  |
|                                               | 15   | 20   | 0                                                  | 0   | 43  | 70  | 113   | 183   | 229   | 277   | 347   | 424   | 521   | 631   | 768   | 872   | 997   | 1 119                          | 1 225 | 1 426 |  |  |
| 380 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 18.5 | 25   | 0                                                  | 0   | 37  | 58  | 91    | 146   | 183   | 229   | 277   | 341   | 421   | 512   | 622   | 704   | 805   | 905                            | 988   | 1 152 |  |  |
|                                               | 22   | 30   | 0                                                  | 0   | 0   | 46  | 73    | 119   | 149   | 186   | 232   | 283   | 347   | 424   | 515   | 585   | 671   | 753                            | 823   | 963   |  |  |
|                                               | 3.7  | 5    | 183                                                | 293 | 460 | 725 | 1 137 | 1 768 | 2 185 | 2 682 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 5.5  | 7.5  | 122                                                | 201 | 314 | 497 | 780   | 1 207 | 1 490 | 1 829 | 2 252 | 2 746 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 7.5  | 10   | 91                                                 | 146 | 232 | 366 | 570   | 881   | 1 088 | 1 329 | 1 631 | 1 978 | 2 390 | 2 862 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
| 380 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 11   | 15   | 64                                                 | 104 | 168 | 268 | 421   | 652   | 808   | 991   | 1 228 | 1 503 | 1 829 | 2 213 | 2 637 | 2 981 | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 15   | 20   | 49                                                 | 79  | 125 | 201 | 320   | 497   | 616   | 762   | 942   | 1 155 | 1 411 | 1 719 | 2 057 | 2 335 | 1 298 | 2 975                          | 0     | 0     |  |  |
|                                               | 18.5 | 25   | 0                                                  | 64  | 101 | 165 | 259   | 402   | 503   | 616   | 762   | 936   | 1 146 | 1 390 | 1 664 | 1 887 | 2 158 | 2 399                          | 2 624 | 3 011 |  |  |
|                                               | 22   | 30   | 0                                                  | 0   | 82  | 131 | 213   | 332   | 415   | 512   | 631   | 777   | 951   | 1 152 | 1 381 | 1 567 | 1 792 | 1 993                          | 2 179 | 2 509 |  |  |
|                                               | 30   | 40   | 0                                                  | 0   | 64  | 98  | 155   | 241   | 302   | 375   | 460   | 567   | 695   | 841   | 1 006 | 1 143 | 1 301 | 1 448                          | 1 585 | 1 823 |  |  |
| 380 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 37   | 50   | 0                                                  | 0   | 0   | 76  | 122   | 192   | 247   | 302   | 375   | 457   | 558   | 677   | 808   | 917   | 1 045 | 1 164                          | 1 271 | 1 457 |  |  |
|                                               | 45   | 60   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 104   | 165   | 201   | 256   | 314   | 387   | 469   | 570   | 686   | 777   | 887   | 981                            | 1 073 | 1 234 |  |  |
|                                               | 55   | 75   | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 88    | 137   | 168   | 210   | 261   | 320   | 393   | 479   | 579   | 658   | 759   | 844                            | 927   | 1 073 |  |  |
|                                               | 75   | 100  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 104   | 128   | 158   | 195   | 232   | 287   | 347   | 415   | 469   | 539   | 597                            | 652   | 753   |  |  |
|                                               | 90   | 125  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 104   | 122   | 149   | 183   | 223   | 283   | 338   | 384   | 433   | 485                            | 530   | 607   |  |  |
| 380 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 110  | 150  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 107   | 128   | 155   | 189   | 229   | 283   | 320   | 360   | 402                            | 439   | 497   |  |  |
|                                               | 130  | 175  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 110   | 134   | 165   | 201   | 238   | 296   | 341   | 384                            | 421   | 488   |  |  |
|                                               | 150  | 200  | 0                                                  | 0   | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 125   | 146   | 177   | 210   | 241   | 287   | 320                            | 347   | 402   |  |  |

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

| Capacidad del motor                           |      |      | Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| volts                                         | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10  | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000                           | 250   | 300   | 350   | 400   | 500   |
| 460 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilos<br>Y-D | 3.7  | 5    | 268                                                | 433 | 686 | 1 079 | 1 692 | 2 627 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 5.5  | 7.5  | 192                                                | 311 | 488 | 771   | 1 207 | 1 875 | 2 332 | 2 862 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 7.5  | 10   | 140                                                | 229 | 360 | 570   | 896   | 1 393 | 1 737 | 2 140 | 2 627 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 11   | 15   | 94                                                 | 155 | 247 | 387   | 613   | 954   | 1 189 | 1 463 | 1 795 | 2 198 | 2 697 | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 15   | 20   | 70                                                 | 116 | 186 | 296   | 469   | 735   | 914   | 1 128 | 1 390 | 1 704 | 2 094 | 2 527 | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 18.5 | 25   | 58                                                 | 94  | 149 | 241   | 378   | 594   | 741   | 908   | 1 119 | 1 375 | 1 692 | 2 042 | 2 481                          | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 22   | 30   | 0                                                  | 76  | 125 | 195   | 311   | 488   | 607   | 750   | 927   | 1 137 | 1 399 | 1 692 | 2 057                          | 2 344 | 2 679 | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 30   | 40   | 0                                                  | 0   | 91  | 146   | 229   | 360   | 448   | 552   | 680   | 835   | 1 027 | 1 237 | 1 503                          | 1 704 | 1 942 | 0     | 0     | 0     |
|                                               | 37   | 50   | 0                                                  | 0   | 76  | 113   | 180   | 293   | 366   | 448   | 552   | 677   | 826   | 1 000 | 1 210                          | 1 375 | 1 564 | 1 750 | 1 911 | 2 216 |
|                                               | 45   | 60   | 0                                                  | 0   | 0   | 98    | 152   | 247   | 305   | 378   | 466   | 570   | 704   | 844   | 1 024                          | 1 161 | 1 320 | 1 481 | 1 618 | 1 875 |
| 55                                            | 75   | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 128   | 201   | 247   | 311   | 384   | 469   | 576   | 695   | 844   | 960                            | 1 097 | 1 234 | 1 347 | 1 573 |       |
| 75                                            | 100  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 94    | 152   | 186   | 232   | 283   | 347   | 430   | 515   | 631   | 713                            | 817   | 917   | 1 000 | 1 164 |       |
| 90                                            | 125  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 119   | 143   | 180   | 223   | 268   | 338   | 405   | 457                            | 558   | 634   | 713   | 777   | 896   |
| 110                                           | 150  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 128   | 155   | 192   | 235   | 290   | 347   | 421                            | 479   | 546   | 610   | 664   | 771   |
| 130                                           | 175  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 137   | 168   | 207   | 253   | 305   | 372                            | 424   | 482   | 543   | 594   | 692   |
| 150                                           | 200  | 0    | 0                                                  | 0   | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 146   | 180   | 223   | 268   | 326                            | 369   | 421   | 472   | 515   | 600   |

Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud máxima en metros (continuación)

| Capacidad del motor                       |      |      | Aislamiento a 75 °C - Calibre (cable de cobre) AWG |     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Calibre del cable de cobre MCM |       |       |  |  |
|-------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|--|--|
| volts                                     | kW   | h.p. | 14                                                 | 12  | 10    | 8     | 6     | 4     | 3     | 2     | 1     | 0     | 00    | 000   | 0000  | 250   | 300   | 350                            | 400   | 500   |  |  |
| 575 V<br>60 Hz<br>Trifásico<br>6 Hilo Y-D | 3.7  | 5    | 421                                                | 677 | 1 064 | 1 682 | 2 627 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 5.5  | 7.5  | 302                                                | 485 | 768   | 1 210 | 1 896 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 7.5  | 10   | 223                                                | 357 | 567   | 890   | 1 399 | 2 179 | 2 716 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 11   | 15   | 149                                                | 241 | 387   | 613   | 954   | 1 490 | 1 856 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 15   | 20   | 113                                                | 186 | 296   | 469   | 735   | 1 152 | 1 436 | 1 765 | 2 176 | 2 664 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 18.5 | 25   | 91                                                 | 149 | 238   | 378   | 594   | 927   | 1 155 | 1 420 | 1 756 | 2 152 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 22   | 30   | 73                                                 | 122 | 197   | 311   | 488   | 762   | 951   | 1 170 | 1 445 | 1 774 | 2 179 | 2 643 | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 30   | 40   | 0                                                  | 91  | 146   | 229   | 360   | 567   | 704   | 869   | 1 064 | 1 308 | 1 603 | 1 932 | 2 350 | 2 664 | 0     | 0                              | 0     | 0     |  |  |
|                                           | 37   | 50   | 0                                                  | 0   | 116   | 180   | 293   | 457   | 570   | 704   | 863   | 1 055 | 1 298 | 1 564 | 1 893 | 2 149 | 2 441 | 2 737                          | 2 984 | 0     |  |  |
|                                           | 45   | 60   | 0                                                  | 0   | 101   | 152   | 241   | 387   | 485   | 594   | 732   | 896   | 1 097 | 1 320 | 1 600 | 1 814 | 2 067 | 2 316                          | 2 527 | 2 929 |  |  |
| 55                                        | 75   | 0    | 0                                                  | 0   | 128   | 201   | 314   | 393   | 485   | 597   | 732   | 899   | 1 088 | 1 320 | 1 503 | 1 713 | 1 929 | 2 106                          | 2 454 |       |  |  |
| 75                                        | 100  | 0    | 0                                                  | 0   | 0     | 122   | 238   | 293   | 360   | 442   | 543   | 668   | 808   | 981   | 1 116 | 1 274 | 1 436 | 1 567                          | 1 823 |       |  |  |
| 90                                        | 125  | 0    | 0                                                  | 0   | 0     | 0     | 183   | 226   | 280   | 351   | 433   | 530   | 640   | 771   | 878   | 997   | 1 116 | 1 210                          | 1 402 |       |  |  |
| 110                                       | 150  | 0    | 0                                                  | 0   | 0     | 0     | 0     | 158   | 198   | 244   | 302   | 369   | 451   | 543   | 658   | 747   | 850   | 951                            | 1 039 | 1 204 |  |  |
| 130                                       | 175  | 0    | 0                                                  | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 174   | 213   | 262   | 323   | 396   | 479   | 582   | 661   | 756   | 847                            | 927   | 1 079 |  |  |
| 150                                       | 200  | 0    | 0                                                  | 0   | 0     | 0     | 0     | 0     | 152   | 186   | 232   | 283   | 347   | 418   | 509   | 576   | 658   | 738                            | 805   | 936   |  |  |

Nota: Los valores de eficiencia y factor de potencia pueden variar, para información más específica revise el manual del proveedor o fabricante.

Las longitudes en NEGRITAS cumplen con el amperaje del U.S. National Electrical Code sólo para cable de conductor individual, en aire libre o agua. Las longitudes que NO están en negritas cumplen con el amperaje del NEC para los conductores individuales o cable forrado.

Tabla 2.19 Eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento de motores de corriente alterna, trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla en potencia nominal de 0.746 a 373 kW

| Columna A Eficiencia Nominal | Columna B Eficiencia Mínima | Columna A Eficiencia Nominal | Columna B Eficiencia Mínima |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 99.0                         | 98.8                        | 93.6                         | 92.4                        |
| 98.9                         | 98.7                        | 93.0                         | 91.7                        |
| 98.8                         | 98.6                        | 92.4                         | 91.0                        |
| 98.7                         | 98.5                        | 91.7                         | 90.2                        |
| 98.6                         | 98.4                        | 91.0                         | 89.5                        |
| 98.5                         | 98.2                        | 90.2                         | 88.5                        |
| 98.4                         | 98.0                        | 89.5                         | 87.5                        |
| 98.2                         | 97.8                        | 88.5                         | 86.5                        |
| 98.0                         | 97.6                        | 87.5                         | 85.5                        |
| 97.8                         | 97.4                        | 86.5                         | 84.0                        |
| 97.6                         | 97.1                        | 85.5                         | 82.5                        |
| 97.4                         | 96.8                        | 84.0                         | 81.5                        |
| 97.1                         | 96.5                        | 82.5                         | 80.0                        |
| 96.8                         | 96.2                        | 81.5                         | 78.5                        |
| 96.5                         | 95.8                        | 80.0                         | 77.0                        |
| 96.2                         | 95.4                        | 78.5                         | 75.5                        |
| 95.8                         | 95.0                        | 77.0                         | 74.0                        |
| 95.4                         | 94.5                        | 75.5                         | 72.0                        |
| 95.0                         | 94.1                        | 74.0                         | 70.0                        |
| 94.5                         | 93.6                        | 72.0                         | 68.0                        |
| 94.1                         | 93.0                        |                              |                             |

Fuente: NOM-016-ENER.

Tabla 2.20 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales

| Potencia Nominal, kW | Potencia Nominal h.p. | Motores cerrados |         |         |         | Motores abiertos |         |         |         |
|----------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
|                      |                       | 2 Polos          | 4 Polos | 6 Polos | 8 Polos | 2 Polos          | 4 Polos | 6 Polos | 8 Polos |
| 0.746                | 1                     | 770              | 855     | 825     | 740     | 770              | 855     | 825     | 740     |
| 1.119                | 15                    | 840              | 865     | 875     | 770     | 840              | 865     | 865     | 755     |
| 1.492                | 2                     | 855              | 865     | 885     | 825     | 855              | 865     | 875     | 855     |
| 2.238                | 3                     | 865              | 895     | 895     | 840     | 855              | 895     | 885     | 865     |
| 3.730                | 5                     | 885              | 895     | 895     | 855     | 865              | 895     | 895     | 875     |
| 5.595                | 75                    | 895              | 917     | 910     | 855     | 885              | 910     | 902     | 885     |
| 7.460                | 10                    | 902              | 917     | 910     | 885     | 895              | 917     | 917     | 895     |
| 1.119                | 15                    | 910              | 924     | 917     | 885     | 902              | 930     | 917     | 895     |
| 1.492                | 20                    | 910              | 930     | 917     | 895     | 910              | 930     | 924     | 902     |
| 1.865                | 25                    | 917              | 936     | 930     | 895     | 917              | 936     | 930     | 902     |
| 2.238                | 30                    | 917              | 936     | 930     | 910     | 917              | 941     | 936     | 910     |
| 2.984                | 40                    | 924              | 941     | 941     | 910     | 924              | 941     | 941     | 910     |
| 3.730                | 50                    | 930              | 945     | 941     | 917     | 930              | 945     | 941     | 917     |
| 4.476                | 60                    | 936              | 950     | 945     | 917     | 936              | 950     | 945     | 924     |
| 5.595                | 75                    | 936              | 954     | 945     | 930     | 936              | 950     | 945     | 936     |
| 7.460                | 100                   | 941              | 954     | 950     | 930     | 936              | 954     | 950     | 936     |
| 9.325                | 125                   | 950              | 954     | 950     | 936     | 941              | 954     | 950     | 936     |
| 1.119                | 150                   | 950              | 958     | 958     | 936     | 941              | 958     | 954     | 936     |



Tabla 2.20 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales (continuación)

| Potencia Nominal, kW | Potencia Nominal h.p. | Motores cerrados |         |         |         | Motores abiertos |         |         |         |
|----------------------|-----------------------|------------------|---------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
|                      |                       | 2 Polos          | 4 Polos | 6 Polos | 8 Polos | 2 Polos          | 4 Polos | 6 Polos | 8 Polos |
| 1.492                | 200                   | 954              | 962     | 958     | 941     | 950              | 958     | 954     | 936     |
| 1.865                | 250                   | 958              | 962     | 958     | 945     | 950              | 958     | 954     | 945     |
| 2.238                | 300                   | 958              | 962     | 958     | ---     | 954              | 958     | 954     | ---     |
| 2.611                | 350                   | 958              | 962     | 958     | ---     | 954              | 958     | 954     | ---     |
| 2.984                | 400                   | 958              | 962     | ---     | ---     | 958              | 958     | ---     | ---     |
| 3.357                | 450                   | 958              | 962     | ---     | ---     | 958              | 962     | ---     | ---     |
| 373                  | 500                   | 958              | 962     | ---     | ---     | 958              | 962     | ---     | ---     |

Fuente: NOM-016-ENER

Tabla 2.21 Identificación de motores abiertos o cerrados

| Enclaustramiento | Designación     | Definición en español                                                                                                                                                  | Definición en inglés                   |
|------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Motores abiertos | IP 00           | Sin protección                                                                                                                                                         |                                        |
|                  | IP 02           | Sin protección contra contacto y cuerpos extraños y protección contra gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical                                      |                                        |
|                  | IP 11           | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y gotas de agua verticales                                                     |                                        |
|                  | IP 12           | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical                  |                                        |
|                  | IP 13           | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical                  |                                        |
|                  | IP 21           | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y gotas de agua verticales.                                    |                                        |
|                  | IP 22           | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical. | Open Drip-Proof (IEC Standard)         |
|                  |                 | Abierto a prueba de goteo                                                                                                                                              |                                        |
|                  | IP 23           | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical  |                                        |
|                  | WP-I            | Protección Ambiental Tipo I                                                                                                                                            | Ambient Protection Type I              |
|                  | APG, ODP        | Abierto a Prueba de Goteo                                                                                                                                              | Open Drip Proof                        |
|                  | PGCP, DPFG      | A Prueba de Goteo Completamente Protegido                                                                                                                              | (Drip-Proof Fully Guarded)             |
|                  | APP, ODG        | Abierto a Prueba de Goteo, Protegido                                                                                                                                   | Open Drip-Prof, Guarded                |
|                  | APG-VF, ODG- FV | Abierto a Prueba de Goteo, Ventilación Forzada                                                                                                                         | Open Drip-Proof, Force Ventilated      |
|                  | APG-VS, ODG- SV | Abierto a Prueba de Goteo, Ventilación Separada                                                                                                                        | Open Drip-Proof, Separately Ventilated |

Tabla 2.21 Identificación de motores abiertos o cerrados (continuación)

| Enclaustramiento | Designación        | Definición en español                                                                                                                                             | Definición en inglés                                    |
|------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Motores cerrados | IP 44              | Protección contra contacto con herramientas, contra sólidos de diámetros mayores de 1 mm y contra salpicaduras de agua en todas direcciones<br>Totalmente Cerrado | Totally-Enclosed (IEC Standard)                         |
|                  | IP 54              | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra salpicaduras de agua en todas direcciones<br>Aprueba de Chapoteo               | Splash Proof (IEC Standard)                             |
| Motores cerrados | IP 55              | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorro de agua en todas direcciones<br>Uso Lavadora                            | Washdown (IEC Standard)                                 |
|                  | IP 56              | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra oleaje fuerte                                                                  |                                                         |
|                  | IP 65              | Protección completa contra contacto, protección completa contra polvos y contra chorro de agua en todas direcciones                                               |                                                         |
|                  | TC, TE, TCVE, TEFC | Totalmente cerrado con ventilación exterior.                                                                                                                      | Totally Enclosed Fan Cooled                             |
|                  | TC, TCVE, TEAO     | Totalmente cerrado con ventilación exterior.                                                                                                                      | Totally Enclosed Air Over                               |
|                  | TCVF, TEBC         | Totalmente cerrado con ventilación forzada                                                                                                                        | Totally Enclosed Blower Cooled                          |
|                  | TC, TCNV, TENV     | Totalmente cerrado no ventilado                                                                                                                                   | Totally Enclosed Non-Ventilated                         |
|                  | TCEA, TEWC         | Totalmente cerrado con enfriamiento agua                                                                                                                          | Totally Enclosed Water Cooled                           |
|                  | TCCCAA, TECACA     | Totalmente Cerrado, Circuito Cerrado, Enfriamiento Aire-Aire                                                                                                      | Totally-Enclosed, Closed Circult, Air to Air            |
|                  | TCDVAAi, TEDC-A/A  | Totalmente Cerrado, Doble Ventilación, Aire-Aire                                                                                                                  | Totally-Enclosed, Dual Cooled, Air to Air               |
|                  | TCDVAA, TEDC-Q/W   | Totalmente Cerrado, Doble Ventilación, Aire-Agua                                                                                                                  | Totally-Enclosed, Dual Cooled, Air to Water             |
|                  | TCTV, TETC         | Totalmente Cerrado con tubería de ventilación                                                                                                                     | Totally-Enclosed, Tube Cooled                           |
|                  | TCEAA, TEWAC       | Totalmente Cerrado, Enfriamiento Aire- Agua                                                                                                                       | Totally-Enclosed, Water/ Air Cooled                     |
|                  | TC, TCPE, TEXP, XP | Totalmente cerrado a prueba de explosión.                                                                                                                         | Totally-Enclosed, Explosion-Proof                       |
|                  | TCEAAi, TEAAC      | Totalmente cerrado con enfriamiento aire-aire.                                                                                                                    | Totally Enclosed Air to Air Cooled                      |
|                  | TCPE, TEEP         | Totalmente cerrado a prueba de explosión.                                                                                                                         | Totally Enclosed Explosion Proof                        |
|                  | TCPGI, TEIGF       | Totalmente cerrado, presurizado con gas inerte.                                                                                                                   | Totally Enclosed Inert Gas Filled                       |
|                  | TCDV-IP, TEPV-IP   | Totalmente cerrado con ductos de ventilación e internamente presurizados.                                                                                         | Totally Enclosed Pipe Ventilation Internally presurized |
|                  | TCEAAg, TEWC       | Totalmente cerrado con enfriamiento agua-aire.                                                                                                                    | Totally Enclosed Water Cooled                           |
|                  | TCEAA-IP, TEWC-IP  | Totalmente cerrado con enfriamiento agua aire e internamente presurizados.                                                                                        | Totally Enclosed Water Cooled Internally presurized     |

Fuente: NOM-016-ENER.

Tabla 2.22 Clasificación del tipo de aislamiento de motores

| Clase de aislamiento | Temperatura máxima °C |
|----------------------|-----------------------|
| Y                    | 90                    |
| A                    | 105                   |
| E                    | 120                   |
| B                    | 130                   |
| F                    | 155                   |
| H                    | 180                   |
| C                    | Más de 180            |

Fuente: NMX-J-075/1

Tabla 2.23 Clasificación de los materiales de aislamiento por su temperatura

| Clase de material aislante | Temperatura máxima a soportar | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Y                          | 90°C                          | Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como algodón, seda, rayón y papel, sin impregnación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| A                          | 105°C                         | Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como algodón, seda rayón y papel, cuando están convenientemente impregnados y cuando están sumergidos en un dieléctrico tal como aceite. Un aislamiento se considera impregnado, cuando una sustancia apropiada, por ejemplo, barniz aislante, sustituye al aire entre las fibras del material, incluso si esta sustancia no rellena completamente los huecos que quedan entre los conductores aislados |
| E                          | 120°C                         | Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales que por la experiencia o por ensayos de reconocida garantía, demuestran que pueden funcionar a la temperatura máxima de funcionamiento anteriormente indicada, o bien que su estabilidad térmica permite su empleo a una temperatura superior en 15°C a la de los materiales de clase A.                                                                                                                      |
| B                          | 130°C                         | Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, amianto, etc., con aglomerantes adecuados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| F                          | 155°C                         | Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como mica, fibra de vidrio, amianto, etc. con aglomerantes adecuados                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| H                          | 180°C                         | Aislamiento constituido por materiales tales como compuestos de siliconas, o asociaciones de materiales como mica, fibra de vidrio, amianto, etc. con aglomerantes adecuados, tales como resinas de siliconas apropiadas                                                                                                                                                                                                                                                          |
| C                          | Mayor a 180°C                 | Aislamiento constituido por materiales o asociaciones de materiales tales como mica, porcelana, cuarzo y vidrio con o sin aglomerante inorgánico. En esta clase, un material, o asociaciones de materiales determinados, tendrá un límite de temperatura que dependerá de sus propiedades físicas, químicas o eléctricas                                                                                                                                                          |

Fuente: NMX-J-153

Tabla 2.24 Velocidades síncronas en r/min, para motores monofásicos y trifásicos, fraccionarios e integrales

| Frecuencia               | 60 Hz |       |       |     |
|--------------------------|-------|-------|-------|-----|
| Número de polos          | 2     | 4     | 6     | 8   |
| Velocidad síncrona r/min | 3 600 | 1 800 | 1 200 | 900 |

Fuente: NEMA MG1

Tabla 2.25 Velocidades síncronas en r/min para motores

| Frecuencia               | 60 Hz |      |      |     |     |     |     |     |
|--------------------------|-------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Número de polos          | 2     | 4    | 6    | 8   | 10  | 12  | 14  | 16  |
| Velocidad síncrona r/min | 3600  | 1800 | 1200 | 900 | 720 | 600 | 514 | 450 |

Fuente: NEMA MG1

Tabla 2.26 Servicio por régimen de tiempo

| Clasificación del servicio                                                                                                                                        | Porcentajes del valor nominal de corriente de las placas de características |                         |                         |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
|                                                                                                                                                                   | Motor especificado para                                                     | Motor especificado para | Motor especificado para | Motor especificado para funcionamiento |
|                                                                                                                                                                   | 5 minutos                                                                   | 15 minutos              | 30 y 60 minutos         | continuo                               |
| Servicio de corto tiempo:<br>Accionamiento de válvulas, elevación o descenso de rodillos, etc.                                                                    | 110                                                                         | 120                     | 150                     | -                                      |
| Servicio intermitente:<br>Elevadores y montacargas, máquinas de herramientas, bombas, puentes levadizos, plataformas giratorias, etc. (para soldadoras de arco,). | 85                                                                          | 85                      | 90                      | 140                                    |
| Servicio periódico:<br>Rodillos, máquinas de manipulación de minerales y carbón, etc.                                                                             | 85                                                                          | 90                      | 95                      | 140                                    |
| Servicio variable                                                                                                                                                 | 110                                                                         | 120                     | 150                     | 200                                    |

Cualquier motor debe ser considerado como de ciclo continuo, a menos que la naturaleza de los aparatos que accione sea tal que el motor no operará continuamente con carga bajo cualquier condición de operación

Fuente: NOM-001-SEDE

#### NOTA IMPORTANTE:

Los motores que serán instalados en pozos, plantas de tratamiento, de potabilización, desaladoras y cualquier otra instalación electromecánica en el sector hídrico deberán cumplir con la normatividad de este libro.

## 2.3. TIPO DE SUBESTACIÓN<sup>2</sup>

El diseño de la subestación debe tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar de instalación como son: Temperatura ambiente (máxima, mínima y media), altitud sobre el nivel del mar, factores de viento y sismo, contaminación ambiental, humedad, presencia de hielo, entre otros, ver Ilustración 2.13 e Ilustración 2.16.

Se sugiere seleccionar en base a los temas siguientes:

- a) Condiciones de seguridad para el personal
- b) Mecánica del suelo
- c) Acceso controlado a personal
- d) Simplicidad en las maniobras de operación
- e) Espacio para mantenimiento y operación
- f) Protección contra incendio
- g) Grado de confiabilidad
- h) Ubicación dentro del sistema
- i) Localización del equipo
- j) Relación de transformación
- k) Niveles de tensión
- l) Resistividad del terreno
- m) Continuidad del servicio
- n) Tipo de la instalación
- o) Demanda de energía
- p) Capacidad de corto circuito.
- q) Crecimiento futuro.
- r) Cálculo de flechas y tensiones (En subestaciones abiertas).
- s) Los líquidos y gases empleados en la subestación y los equipos no deben presentar riesgos al personal y al entorno

### 2.3.1. CONDICIONES DE LOS LOCALES Y ESPACIOS.

Los locales donde se instalen subestaciones deben cumplir con lo siguiente:

1. Deben estar hechos de materiales resistentes al fuego de al menos una hora
2. No deben emplearse como almacenes, talleres o para otra actividad que no esté relacionada con el funcionamiento y operación del equipo
3. No debe haber polvo o pelusas combustibles en cantidades peligrosas ni gases inflamables o corrosivos
4. Deben tener ventilación adecuada para que el equipo opere a su temperatura y para minimizar los contaminantes en el aire bajo cualquier condición de operación

Por motivos de limitación de espacio en un proyecto, en acuerdo con el área mecánica y definido desde Bases de Licitación, los equipos de aire acondicionado y/o presurización se pueden localizar en un cuarto específico arriba del cuarto de tableros y equipo eléctrico de la subestación, ya sea para subestaciones de un nivel como de dos niveles. Este cuarto específico debe contar con las facilidades de acceso a personal y equipo.

Las puertas deben abrir hacia fuera, ser resistentes al fuego y las de salida de personal tener barra de pánico accionada por simple presión de palanca, no deben localizarse hacia el lado del patio de transformadores ni de las plantas de

<sup>2</sup> Fuente: NRF-051, NOM – 001-SEDE, CFE VY200-40

Ilustración 2.13 Subestación





proceso, deben ser de lámina de acero troquelada resistente al fuego, mínimo 1 hora como lo indica la ASTM E2074.

En la ilustraciones se ejemplifican cuartos de control de motores de un nivel y de dos niveles, ver Ilustración 2.14 y Ilustración 2.15.

El arreglo de una subestación eléctrica consiste esencialmente en la distribución física de sus componentes (transformadores de potencia, interruptores, cuchillas, transformadores de instrumentos) y del tipo de subestación.

Dependiendo de las necesidades del proyecto pueden tener las siguientes áreas: Cuarto de tableros y equipo eléctrico (este cuarto aloja equipos para interior como transformadores tipo seco, capacitores, tableros y CCM's de media y baja tensión, gabinetes de SFI, cargador y banco de baterías, tableros de alumbrado, tableros de control y distribución de trazas eléctricas, variadores de velocidad y arrancadores suaves de media tensión); Patio de transformadores (instalación en exterior para mayores a 150 kVA) y capacitores tipo exterior (en su caso); Cuarto de conductores o trinchera; Cuarto para bancos de baterías; Cuarto de equipos para aire acondicionado y/o presurización; Cobertizo para cilindros y mitigación de fuego.

### 2.3.2. SUBESTACIONES ABIERTAS

Como medio de desconexión en subestaciones abiertas, deben utilizarse cuchillas “desconectadoras” de operación en grupo, ya sea manual o por motor. Como dispositivo principal de desconexión y protección se deben seleccionar interruptores de potencia, de tres polos, mon-

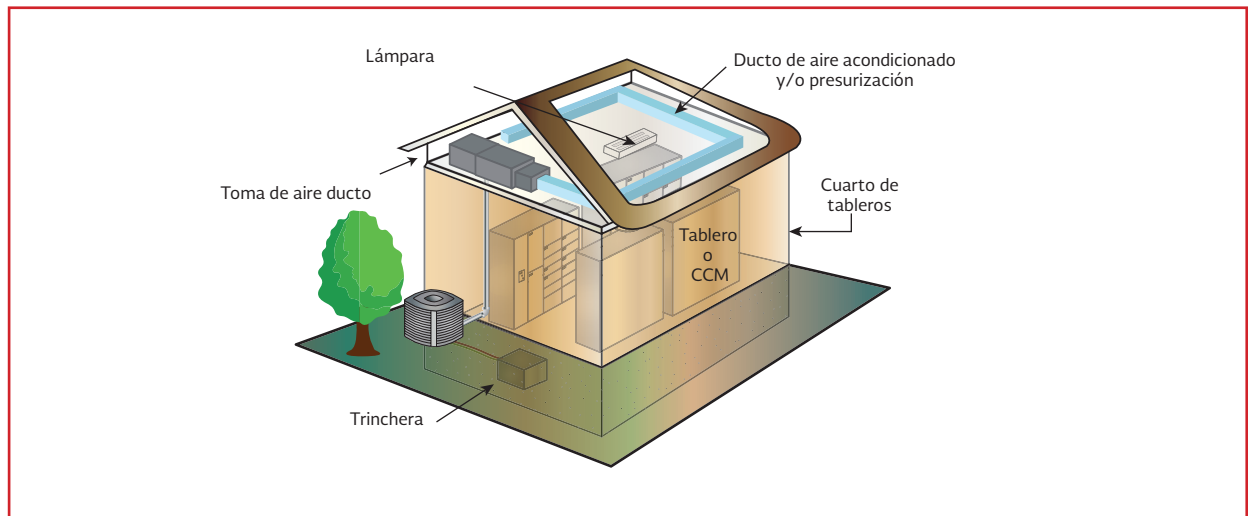
tados sobre un bastidor soporte de acero, como lo requieran los siguientes parámetros y accesorios:

1. El medio de extinción del arco debe ser vacío para tensiones de 5 kV hasta de 34.5 kV, y hexafluoruro de azufre en subestaciones con tensiones mayores de 34.5 kV. Tiempo de interrupción de tres ciclos
2. Mecanismo de operación tripolar con características de activación (disparo) libre, de energía almacenada por resorte, la carga del resorte debe ser por motor eléctrico. El mando para accionamiento de contactos debe ser manual sin energía de control y eléctrico (de forma local y remota)
3. Las boquillas deben ser de porcelana o resina epóxica
4. El gabinete de control debe ser de lámina de acero inoxidable
5. El equipo de regulación automática LTC debe de contar con: contador de operaciones, indicador visual de posición de contactos, indicador del mecanismo de operación

### 2.3.3. SUBESTACIÓN INTEMPERIE EN POSTE O MARCO DE POSTES

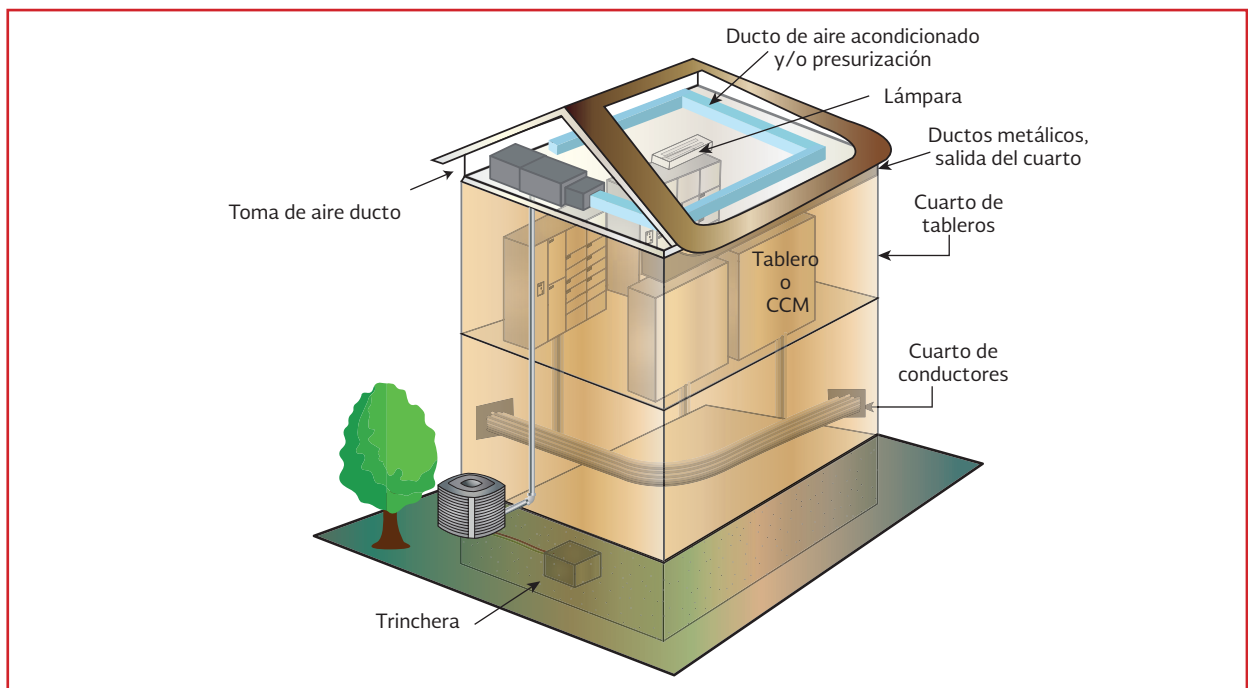
Es la subestación más sencilla, consta de un poste o marco formado por dos postes de concreto, con trabes de vigueta de acero galvanizado en las que se recibe la acometida y se montan aisladores, cuchillas “desconectadoras”, apartarrayos y cuchillas fusibles. El transformador se ubica soportado del (los) poste(s); el equipo para medición se instala resguardado a pie de los postes y fuera del límite del Centro de Trabajo, la protección, control y distribución de baja tensión normalmente es instalado en un cuarto diseñado para este propósito.

Ilustración 2.14 Cuarto de control eléctrico en un nivel



Fuente: NRF-051

Ilustración 2.15 Cuarto de control eléctrico en dos nivel



Fuente: NRF-051



#### 2.3.4. SUBESTACIÓN INTEMPERIE EN MARCO DE ESTRUCTURA METÁLICA

Es similar al descrito en el párrafo anterior, consta de un marco de estructura metálica formada de perfiles estructurales, armados en celosía de acero galvanizado por inmersión; en la estructura se montan aisladores, cuchillas “desconectadoras”, apartarrayos y cuchillas seccionadoras, bajo la estructura sobre una base se localiza el interruptor de potencia y frente a éste, a distancia conveniente para instalación y mantenimiento, se localiza el transformador. El equipo para medición se instala resguardado a pie de la estructura y fuera del límite del centro de trabajo la protección, control y distribución de baja tensión, se instala en un cuarto diseñado para este propósito.

#### 2.3.5. SUBESTACIÓN INTEMPERIE EN CUADRO DE ESTRUCTURA METÁLICA

Consta de un cuadro integrado por columnas y trabes de perfiles estructurales armados en celosía, en la estructura se realiza el tendido y arreglo de cables a los que de acuerdo al diseño se conectan los equipos como cuchillas, apartarrayos, transformadores de potencial, transformadores de corriente, interruptores de potencia y transformador. El equipo para medición se instala resguardado a pie de la estructura y fuera del límite del centro de trabajo; la protección, control y distribución de baja tensión, se instala en un cuarto diseñado para este propósito. Toda el área debe delimitarse y resguardarse con malla ciclón o barda de mampostería, con acceso restringido. La capacidad de estas subestaciones debe cumplir con los requisitos del proyecto.

#### 2.3.6. SUBESTACIONES COMPACTAS

Se instalan principalmente en el interior de subestaciones y edificios, se utilizan en capacidades de 1 000 kVA como máximo y tensiones hasta de 34.5 kV. Los elementos que las componen como cuchillas de prueba, apartarrayos, barras conductoras, fusibles e interruptores, se instalan dentro de celdas metálicas de lámina y estructura de acero. El equipo de medición se instala a pie de la acometida y fuera del límite del centro de trabajo.

#### 2.3.7. SUBESTACIÓN BLINDADA EN GAS SF<sub>6</sub>

##### 2.3.7.1. Campo de aplicación

Para utilizarse en sistemas con tensiones nominales de 72.5 kV a 420 kV con frecuencia industrial de 60 Hz, para servicio interior o intemperie, aplicables en casos especiales como los siguientes (ver Ilustración 2.16) :

- a) Zonas urbanas con poca disponibilidad de espacio
- b) Zonas con alto costo de terreno
- c) Zonas de alta contaminación y ambiente corrosivo
- d) Zonas con restricciones ecológicas
- e) Instalaciones subterráneas
- f) Zonas con alto índice de sismicidad
- g) Zonas de alto impacto social y urbanístico

##### 2.3.7.2. Descripción General de la Subestación

La subestación debe estar formada por los juegos de barras, cuyo tipo y número de bahías que se indican en las características particulares. Los tipos de barras son básicamente los siguientes:

Ilustración 2.16 Subestación SF<sub>6</sub>



Primera subestación en SF<sub>6</sub> ubicada en el Realito

- a) Arreglo de barra principal
- b) Arreglo de barra principal barra – auxiliar con interruptor de amarre y/o transferencia
- c) Arreglo en anillo
- d) Arreglo en “H”
- e) Arreglo de interruptor y medio
- f) Arreglo de doble barra – doble interruptor

Los tipos de bahías son básicamente las siguientes:

- Bahía de salida a línea de transmisión (aérea o cable)
- Bahía de salida a equipo de transformación
- Bahía de enlace de barras y/o de transferencia

Cada una de las bahías así como el conjunto de barras debe estar formada con base en compartimientos aislados con gas SF<sub>6</sub>, formando un conjunto modular.

En el caso de subestaciones con tensiones hasta de 145 kV, para las barras, se puede utilizar el diseño con envolvente trifásica, o el diseño con envolvente monofásica.

En el caso de subestaciones con tensiones mayores de 145 kV y hasta 245 kV, para las barras, se puede utilizar el diseño con envolvente trifásica, o el diseño con envolvente monofásica. En subestaciones con tensión de 420 kV, sólo se acepta el arreglo con envolvente monofásica.

Independientemente de la cantidad o tipo de transformadores de potencia (monofásicos o trifásicos) la conexión entre la subestación y estos equipos deben ser a través de línea aérea.

A menos que existan condiciones especiales como falta de espacio, alta contaminación ambiental entre otras, la conexión de la subestación al transformador debe ser mediante envolvente metálica en SF<sub>6</sub> con transición gas – aceite, esta envolvente debe contar con un estanco a 5 m de la transición con el objeto de facilitar las actividades de mantenimiento. El requerimiento de la conexión del transformador a la subestación se debe indicar en características particulares.

#### 2.3.7.3. Arreglo de barras aplicables

Los arreglos de barras colectoras que se utilizarán en los proyectos de Subestaciones Eléctricas son:

- En media tensión (M.T.) de 13.8 kV a 34.5 kV: barra principal en tablero metálico blindado aislado en aire y gas SF<sub>6</sub>
- En alta tensión (A.T.) de 69 kV a 138 kV: barra principal, barra principal - barra de transferencia, anillo y arreglo de barras en “H”

#### **Ventajas:**

1. No existe restricción entre la ubicación física de las bahías de los elementos y la funcionalidad de la subestación eléctrica
2. Con un interruptor fuera de servicio, la activación (disparo) o salida de un elemento, ocasiona la pérdida de únicamente el elemento objeto de la falla
3. Permite realizar arreglos de bajo perfil, ya que sólo se requieren dos niveles de conductor energizado para la conectividad entre equipos. En subestaciones blindadas en gas SF<sub>6</sub>, estos niveles no se requieren
4. Permite dar mantenimiento al interruptor del elemento que se trate, sin la pérdida del enlace utilizando el bypass. Para las subestaciones blindadas en gas SF<sub>6</sub>, el uso de la cuchilla de bypass no es recomendable, ya que se garantiza la operación continua de un interruptor sin darle mantenimientos mayores hasta por lo menos durante un período de 10 años
5. Se puede ampliar fácilmente, en las subestaciones blindadas en gas SF<sub>6</sub>, se debe dejar espacios para el crecimiento
6. De fácil construcción modular
7. Requiere poco espacio de construcción
8. Las subestaciones blindadas en gas SF<sub>6</sub> son de mucha confiabilidad, es posible

que todas las salidas y entradas se puedan realizar con terminales SF<sub>6</sub>-Cable y evitar partes vivas en la subestación eléctrica

9. En subestaciones blindadas en gas SF<sub>6</sub>, se requiere poco espacio de construcción, se puede reducir hasta un 40 por ciento el área requerida
10. En subestaciones blindadas en gas SF<sub>6</sub> es muy difícil que exista una falla en la barra ya que ésta se considera un elemento pasivo

#### **Desventajas:**

1. En las subestaciones eléctricas de distribución de bajo perfil, este arreglo ocupa mayor superficie de construcción contra los arreglos descritos siguientes:
  - a) Barra principal
  - b) Anillo
  - c) Arreglo en H
  - d) Arreglos en subestaciones blindadas en gas SF<sub>6</sub>

Para la subestación blindada en gas SF<sub>6</sub> la cimentación o base para recibirla debe ser diseñada y construida con base a la información que proporcione el fabricante de la misma, como son: dibujos, planos, datos relativos a pesos y dimensiones, detalles de anclaje, tolerancias para desplazamientos verticales, entre otros; de tal manera que se evite realizar modificaciones relevantes durante la colocación de este equipo.

#### **2.3.7.4. Disposición Física de la Subestación**

La disposición física del equipo y demás elementos de la subestación se debe hacer para lograr

un arreglo limpio y lógico, que permita el acceso para efectuar trabajos de reparación y mantenimiento en los diferentes compartimientos, que facilite la sustitución de partes de la instalación y las posibilidades de expansión futura para la adición de nuevos equipos o bahías, con la mínima afectación del servicio y del equipo ya instalado. El arreglo de la subestación debe ser tal que se permita efectuar acciones regulares de operación y mantenimiento como son los siguientes:

1. Inspección del equipo y mecanismos
2. Operación local del equipo de maniobra
3. Toma de lecturas de instrumentos
4. La observación de posición de cuchillas
5. La revisión y cambio de accesorios
6. La utilización de equipo de servicio
7. Inyección de gas

#### **2.3.7.5. Variación de la temperatura ambiente**

Las variaciones de temperatura ambiente para condiciones de servicio normal y especial se indican en la Tabla 2.27.

#### **2.3.7.6. Límite permisible de elevación de temperatura**

Los límites de temperatura permisibles para las partes conductoras de las subestaciones blindadas cubiertas por esta especificación, con relación a una temperatura máxima de 40 °C y una temperatura promedio durante 24 horas no mayor de 35 °C deben ser las siguientes:

1. En barras de cobre o aluminio 65 °C
2. En conexiones atornilladas o a base de contactos a presión 65 °C
3. En la envolvente metálica 30 °C

#### 2.3.7.7. Altitud

Para el diseño de la subestación y en particular para los aislamientos externos (boquillas), se deben considerar las siguientes altitudes.

1. Menor o igual a 2 500 m
2. Mayor a 2 500 m

#### 2.3.7.8. Características nominales y valores de pruebas dieléctricas

Las características nominales de la subestación y los diferentes equipos que la integran, se indican en las características nominales y valores de pruebas dieléctricas están basados e indicados en la Tabla 2.28. En esta misma se mencionan los valores de las pruebas dieléctricas aplicables.

#### 2.3.7.9. Corrientes nominales de operación y corrientes de Interrupción

Las corrientes nominales de operación y corrientes de interrupción se indican en la Tabla 2.29.

#### 2.3.7.10. Transición de salida

Para la conexión de cada una de las bahías de la subestación al equipo o elemento externo, sea éste una línea de transmisión, equipo de transformación u otro, se deben utilizar los siguientes tipos de transición:

- a) Barra en SF<sub>6</sub> a boquilla SF<sub>6</sub> – Aire (1).
- b) Barra en SF<sub>6</sub> a terminal cable (2)
- c) Barra en SF<sub>6</sub> a boquilla SF<sub>6</sub> – Aceite de transformador (2)

#### Notas:

1. Así mismo, en las Características Particulares se indica la distancia de fuga, la cual debe estar de acuerdo con la especificación CFE L0000-06
2. Las boquillas deben cumplir con lo indicado en la especificación CFE 53000-95.

El límite del suministro por parte del fabricante de la subestación aislada en gas SF<sub>6</sub> correspondiente a cada uno de los tipos de terminal se indica a continuación:

#### 2.3.7.11. Barra en SF<sub>6</sub> boquilla SF<sub>6</sub> – aire

El proveedor debe incluir en el suministro:

- a) El tramo de la envolvente desde la bahía hasta la localización de las boquillas SF<sub>6</sub>-aire, incluyendo el equipo para la supervisión, alarma y activación (disparo) por baja presión del gas
- b) Las boquillas SF<sub>6</sub> – aire, incluyendo su respectivo equipo para supervisión de gas, deben tener por lo menos los mismos niveles de aislamiento que los del equipo de la bahía
- c) Un tap capacitivo en la boquilla, que por diseño, el fabricante lo considere necesario para su correcta operación
- d) Todos los accesorios incluyendo, diafragmas o módulos de expansión que requiera el trayecto de la envolvente SF<sub>6</sub>
- e) Los medios de soporte que requieren tanto las trayectorias de las envolventes en SF<sub>6</sub> como las boquillas en SF<sub>6</sub> – aire



- f) El montaje de las boquillas, debe ser con una inclinación máxima de 30° con respecto al eje vertical. Para montaje horizontal con tensiones nominales de 69 kV y 115 kV, el material para el aislamiento externo de las boquillas debe ser de porcelana

#### 2.3.7.12. Barra en SF<sub>6</sub> a terminal cable

El proveedor debe incluir en el suministro:

- a) El número de envolventes en SF<sub>6</sub> requeridas desde la bahía hasta la terminal de cable, incluyendo el equipo para la supervisión, alarma y activación (disparo) por baja presión del gas
- b) Todos los accesorios incluyendo, diafragmas o módulos de expansión que requiera el trayecto de la envolvente SF<sub>6</sub>
- c) Los medios de soporte para las envolventes en SF<sub>6</sub> y para la terminal del cable
- d) La terminal del cable incluyendo tanto la envolvente exterior como las partes internas de la terminal, de acuerdo al diseño del fabricante
- e) Los torques de diseño de la terminal, debiendo entregar un reporte de esta actividad al usuario final durante la etapa de puesta en servicio

#### 2.3.7.13. Barra en SF<sub>6</sub> a boquilla SF<sub>6</sub> - aceite de transformador

Para el caso de terminales de este tipo, el proveedor debe suministrar:

- 1. Los tramos de las envolventes en SF<sub>6</sub> hasta la boquilla SF<sub>6</sub>-aceite del transforma-

dor, incluyendo el equipo para supervisión, alarma y disparo por baja presión del gas

- 2. Los medios de soporte y sujeción para las envolventes en SF<sub>6</sub>
- 3. La boquilla en SF<sub>6</sub>- aceite debe tener un tap capacitivo para medición de la tensión, para lo cual el fabricante del transformador de potencia se debe poner de acuerdo con el proyectista
- 4. Los medios de conexión (conectores) para la parte conductora y para la envolvente de la boquilla con la parte correspondiente del transformador

El fabricante debe asegurar que la longitud máxima en los compartimientos de gas SF<sub>6</sub> en tramos rectos, no exceda de 5 m, debiendo ser con aislador barrera (estanco) y poder evitar la extracción de todo el volumen de gas de la sección encapsulada al transformador. En estos casos, se requiere que cada compartimiento de gas esté provisto de su correspondiente sistema de alarma y monitoreo. Lo anterior para eficientar el mantenimiento del transformador de potencia.

#### 2.3.7.14. Tensiones de Alimentación de Auxiliares

Las tensiones de alimentación de auxiliares para el equipo de la subestación, para las funciones de control, alimentación de motores, calefacción, protección y alarmas se indican en la Tabla 2.30, Tabla 2.31 y Tabla 2.32. Los intervalos de variación de estas tensiones, dentro de los cuales deben operar satisfactoriamente los equipos e instrumentos de la subestación, deben ser considerados por el fabricante para el diseño de los mismos.

#### 2.3.7.15. Partes Conductoras

Todas las partes conductoras de la subestación aislada en gas, incluyendo las barras, equipos y los elementos de conexión entre ellos, deben tener la sección transversal necesaria para conducir en forma continua la corriente nominal requerida, sin exceder los límites de elevación de temperatura máximos especificados, y además deben tener la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos producidos, resultantes de las corrientes de corto circuito y minimizar la flexión por su propia masa.

Las superficies de los conductores incluyendo sus puntos de conexión deben estar perfectamente terminados, libres de aristas y protuberancias a fin de evitar que se produzcan en cualquier punto concentraciones de campo eléctrico que den por resultado descargas parciales excesivas o bien la ruptura del dieléctrico.

La unión entre los diferentes segmentos que integran la parte conductora de la subestación aislada en gas, se debe efectuar mediante conexiones a base de segmentos de contacto a presión plateados, que garanticen además de un buen punto de contacto, la libre expansión y contracción de las partes conductoras producidas por la dilatación de las mismas o de la envolvente, a fin de evitar que se produzcan esfuerzos mecánicos sobre los aisladores de soporte internos.

Las envolventes metálicas se deben fabricar con aluminio libre de poros o también con acero inoxidable de las características necesarias para reducir al mínimo las pérdidas magnéticas. El espesor de las paredes de los elementos que forman las envolventes debe soportar las sobre-presiones causadas por el arco eléctrico en caso de fallas internas y evitar la perforación por

quemaduras de la envolvente por arco eléctrico, en el caso de fallas con tiempo de libramiento hasta de (400 – 500 ms). Las envolventes se deben diseñar para soportar la aplicación de vacío absoluto para fines de evacuación y secado de las partes internas.

Todas las juntas entre las diferentes secciones que integran las envolventes deben ser maquinadas, la unión debe ser mediante bridas acopladas con tornillos y arandelas de presión.

En cada una de las uniones se deben utilizar empaques o juntas elásticas de material resistente a la intemperie y al ataque de los productos de descomposición del gas SF<sub>6</sub>. La calidad de estas juntas, así como la de los materiales que forman las envolventes, deben ser tal que garanticen una hermeticidad entre compartimentos y hacia el exterior que permita reducir la pérdida de gas anual a un valor de 0.5 por ciento o menor en cada compartimiento, con relación a su propio volumen de gas o del 0.5 por ciento del total de la instalación con respecto al volumen total de gas.

A fin de poder absorber las dilataciones y contracciones que se presenten en las diferentes condiciones de temperatura y en particular en el caso de tramos largos de la instalación, como es en envolventes de barras, envolventes de salida, entre otros, dentro del ensamble de éstas se deben prever los medios de expansión necesarios de acuerdo con la longitud, a fin de reducir los esfuerzos aplicados a las estructuras y soportes de la instalación y a otros elementos de la misma, estos medios de expansión deben ser del tipo de diafragma metálico con los accesorios necesarios de tensión, en el caso de envolventes acopladas a equipos de transformación sujetos a vibración se deben prever medios para reducir la transmisión de esas vibraciones a la subestación.

#### 2.3.7.16. Compartimentos

La cantidad de compartimentos de gas debe ser propuesta por el proveedor y cumplir con lo siguiente:

- a) Debe contar con equipo de supervisión de gas con medición independiente que tenga indicación en la escala numérica y con colores que incluya contactos de alarma, bloqueo y sobre-presión
- b) Debe contar con equipo de alivio de presiones excesivas, el cual debe estar adecuadamente localizado y contar con deflectores y cubiertas de modo que en caso de operar no representen ningún riesgo para el personal a cargo de la instalación
- c) Debe ser compatible con el equipo de manejo de gas propuesto por el fabricante, incluyendo conexiones y mangueras de tal manera que sea capaz de manejar por lo menos 1.5 veces el volumen del estanco más grande
- d) Debe proporcionar facilidad de mantenimiento, en tal forma que se pueda aislar el mínimo número de compartimentos
- e) En el caso de subestaciones en SF<sub>6</sub>, independientemente del número de barras, no se acepta que toda la barra esté contenida en un solo compartimento, se requiere al menos un estanco por cada bahía, así como sus juntas de expansión correspondientes
- f) El flujo de gas entre los diferentes compartimentos que deban estar comunicados, se debe efectuar por la parte interna de las envolventes. No se aceptan tuberías o conductos de gas externos

- g) La continuidad eléctrica entre los diferentes compartimentos de gas, para asegurar en todas ellas el mismo nivel de potencial (potencial de tierra), se debe efectuar mediante barras metálicas de interconexión externas, no deben utilizarse para este propósito las propias bridas ni sus tornillos

Para el caso de compartimentos que se encuentren a la intemperie, el equipo de supervisión de gas debe estar contenido en un gabinete a prueba de intemperie, que satisfaga las condiciones ambientales.

#### 2.3.7.17. Conexiones a Tierra

Las envolventes metálicas de cada compartimento, las estructuras o medios de soporte metálicos, las cajas o gabinetes metálicos, y en general todas aquellas partes metálicas de la subestación con la que puede estar en contacto el personal, estando en servicio la subestación, deben estar conectadas efectivamente a la red de tierras de la instalación, mediante barras sólidas de cobre de sección rectangular de la capacidad adecuada; el número de puntos de conexión debe ser de acuerdo al tamaño y cantidad de elementos que forman la subestación y debe asegurar la ausencia de puntos con diferencia de potencial entre sí y a tierra.

#### 2.3.7.18. Bloqueos entre equipos de maniobra

El diseño de la subestación debe tomar en cuenta y prever la posibilidad de operaciones erróneas en el equipo de maniobra (cuchillas e interruptores) y la seguridad del personal a cargo de la instalación en caso de que esto suceda.



Para lo anterior se requiere que el equipo de maniobra de la subestación cuente con bloqueos para evitar los siguientes casos:

- a) El cierre de un circuito energizado cuando se tiene cerrada alguna cuchilla de puesta en tierra
- b) La operación de una cuchilla desconectadora con corriente de carga
- c) Las cuchillas de puesta a tierra deben de contar con bloqueo eléctrico y mecánico
- d) El cierre de una cuchilla de puesta a tierra de bus sobre un circuito energizado
- e) Otros bloqueos que el fabricante considere necesarios

#### 2.3.7.19. Aislamiento Sólido

Las partes conductoras de la subestación deben estar soportadas por piezas aislantes (aisladores) de un material con características dieléctricas adecuadas, compatibles con el gas SF<sub>6</sub> y sus productos, así como con otros metales o materiales empleados en la subestación. El diseño de los mismos debe tender a lograr una distancia de fuga y una distribución de la tensión tales que se eviten los puntos con gradiente elevado.

Los aisladores soporte que adicionalmente deben servir como medios para independizar los distintos compartimientos de gas, deben tener además; la resistencia mecánica y el hermetismo necesario, para soportar los esfuerzos y presiones que se presenten tanto en condiciones normales de operación como en caso de falla.

Los aisladores barrera que forman estancos de gas deben estar diseñados para soportar la presión máxima nominal de servicio en una cara y una presión de vacío menor a 100 Pa en la otra cara y viceversa.

El diseño y tipo de montaje de los aisladores debe evitar que se produzcan sobre éstos esfuerzos mecánicos excesivos causados por las partes conductoras y/o las envolventes metálicas.

En el caso de aisladores que deben quedar localizados entre secciones de gas intercomunicadas, éstos deben contar con los orificios o aberturas que permiten el libre flujo de gas.

#### 2.3.7.20. Aislamiento Gaseoso

La presión nominal del gas en los diferentes compartimientos debe ser determinada por los propios fabricantes en base a su diseño, y debe ser de un valor único para toda la subestación con excepción de los compartimientos de interruptores, en los cuales por capacidad interruptiva se puede requerir una presión diferente al del resto de la subestación.

El diseño y material de las envolventes metálicas así como la calidad de las juntas y conexiones entre elementos debe ser tal que la fuga anual de gas sea inferior al 0.5 por ciento, tanto en cada compartimento con relación a su propio volumen de gas, como en la subestación en su totalidad con relación al volumen de gas total de la misma.

Dentro del intervalo de variación de temperatura especificada, la densidad del gas se debe mantener constante a fin de mantener los niveles de aislamiento requeridos; adicionalmente se requiere que en caso de que por pérdida de gas la presión baje a un valor igual a la presión atmosférica, el aislamiento a tierra y entre fases sea suficiente para soportar sin fallar la tensión nominal de la subestación, quedando entendido que en tal caso no deben operar los equipos de maniobra (cuchillas e interruptores).

Cada compartimento de gas debe contener elementos filtrantes estáticos, capaces de absorber la humedad y otros productos del gas.

Se deben suministrar tomas con válvulas de no retorno en cada compartimento, en los densímetros y en la válvula de llenado, de tal manera que permitan efectuar una reposición de gas cuando sea necesario sin tener que sacar de servicio parcial o totalmente la instalación.

La supervisión del gas se debe efectuar mediante densímetros instalados en cada compartimento con contactos de alarma que actúen e indiquen los siguientes casos:

- a) En compartimentos de interruptores
  - Una alarma preventiva (primer nivel) que indique el inicio de una fuga de gas, ajustada a un valor en el cual aún no se afecte la operación segura de la instalación
  - Una segunda alarma (segundo nivel) ajustada al valor en el cual se empiecen a afectar las capacidades nominales del interruptor
- b) En otros compartimentos
  - Una alarma preventiva (primer nivel) que indique el inicio de una fuga de gas, ajustada a un valor en el cual aún no se afecte la operación segura de la instalación
  - Una segunda alarma (segundo nivel) ajustada al valor en el cual se empiecen a afectar los niveles de aislamiento de la instalación
  - Se requiere indicación directa, con carátula con graduación numérica y con colores para lecturas de densidad o presión del gas en todos los compartimentos herméticos, y de exactitud en

los relativos a interruptores y boquillas

- En los compartimentos adyacentes a los interruptores se debe contar con una alarma por alta presión del gas

Se debe considerar en el diseño las facilidades para que el cambio o reposición de los densímetros se pueda efectuar sin tener que evacuar o sacar de servicio el compartimento respectivo.

El gas SF<sub>6</sub> a utilizarse en la subestación debe cumplir con lo indicado en la norma IEC 60376.

Los límites de cada compartimento de gas de la subestación deben ser fácilmente identificables desde el exterior, para lo cual el proveedor marca los límites entre compartimentos de gas contiguos (una banda de color u otro medio fácilmente visible).

Se requiere que la subestación aislada en gas y los equipos que la integran no necesiten de trabajos de mantenimiento mayores por lo menos durante un período de 10 años. Los trabajos de mantenimiento menor deben estar dirigidos exclusivamente a las partes accesibles de los mecanismos y equipos, accesorios de la instalación, y deben consistir en trabajos rutinarios de inspección, lubricación y limpieza de estos elementos, sin que esto requiera tener que desarmar o desmontar las partes conductoras o envolventes de la subestación y evacuar el gas.

Para la ejecución de trabajos de mantenimiento mayor preventivo, cuando llegue el momento de efectuarlos, o bien para el caso de trabajos de reparación, el diseño de la subestación debe prever las facilidades para separar las partes conductoras, envolventes y módulos para:

- a) Poder trabajar en el interior de los compartimentos de gas sin tener que evacuar todos los compartimentos de la bahía, incluyendo los adyacentes
- b) Poder trabajar en cualquier compartimento de una bahía sin tener que sacar de servicio el resto de la subestación, o bien hacerlo por un período mínimo de tiempo

El proveedor de la subestación debe entregar:

#### **Accesorios**

- a) Densímetros para supervisión del gas SF<sub>6</sub> y sus medios de conexión
- b) Dispositivos de alivio de presión
- c) Tomas para rellenado de gas con válvula de retención
- d) Tomas para conexión de manómetros portátiles con válvula de retención
- e) Indicadores visuales de posición del equipo (cuchillas, interruptores)
- f) Elementos de expansión para las envolventes metálicas, incluyendo los medios para tensionar
- g) Tuberías y/o canalizaciones para cables de control y fuerza desde la subestación hasta los gabinetes de control local
- h) Cableado de control y fuerza entre la subestación y los gabinetes de control local
- i) Todos los tornillos, arandelas de presión, entre otros, para el ensamble y montaje de la subestación aislada en gas
- j) Tapas metálicas para el transporte y blindajes necesarios para las pruebas y mantenimiento, que deben ser resistentes a la intemperie
- k) En el suministro se debe incluir un sistema de detección en línea de descargas parciales para subestaciones encapsuladas

en SF<sub>6</sub> para tensiones desde 115 kV a 400 kV considerando los sensores necesarios que cubran el 100 % de las bahías, ubicados en la pared interna de la envolvente

- l) Placa de características por bahía y/o equipo
- m) Elementos filtrantes estáticos para el gas SF<sub>6</sub>, en cada uno de los compartimentos de los interruptores
- n) Contador de operaciones de los interruptores
- o) Contador de descargas de apartarrayos
- p) Puentes desmontables (links) en conexiones a cables, transformadores y transformadores de potencial
- q) Conmutadores de contactos auxiliares para cuchillas e interruptores
- r) Ventanas de verificación visual de posición de cuchillas
- s) Estructuras y medios de soporte de todo el equipo o elementos de la subestación
- t) Conectores para terminales de salida
- u) Dispositivos para absorber vibración de otros equipos
- v) Placas y conectores para conexiones a tierra
- w) Capacitores de distribución de tensión en interruptores multicámara
- x) Resistencia de preinserción de interruptores o relé de sincronismo para el cierre del interruptor

#### 2.3.7.21. Condiciones de operación

##### **Gabinetes de Control Local**

Para cada una de las bahías de la subestación, se debe suministrar un gabinete de control local, el cual debe estar dispuesto físicamente enfrente de la bahía correspondiente y tener una medida a lo ancho no mayor que la propia bahía.

El gabinete se debe construir con base de lámina y perfiles estructurales de fierro, debe ser para montaje directo sobre el piso y estar preparado para recibir todo el cableado externo por la parte inferior. El gabinete debe ser autosoportado.

Estos gabinetes se deben agrupar formando una unidad uniforme y compacta y deben contar con los equipos y aparatos necesarios para desempeñar las siguientes funciones básicas:

- a) Control local de los equipos de maniobra de la bahía, cuchillas e interruptores
- b) Señalización de alarmas locales y remotas - señalización de la posición de los equipos de maniobra de la bahía, y un cuadro de alarmas con indicación del funcionamiento inadecuado de algún elemento de la bahía
- c) Centralización del cableado de la bahía, incluyendo circuitos de control libre de interferencia de los diferentes elementos de la bahía, circuito de señalización y de alarmas, circuitos de cierre, activación (disparo) y bloqueo, circuitos secundarios de transformadores de instrumentos, cableado de contactos auxiliares del equipo, circuitos de fuerza y calefacción
- d) Representación mímica de la bahía, representación mímica del diagrama unifilar de la bahía de la parte frontal del gabinete, de acuerdo a la clave de colores siguiente:
  - Morado magenta para tensiones de 123 kV y 138 kV
  - Verde para tensiones de 139 kV a 161 kV
  - Amarillo para tensiones de 230 kV,
  - Azul para tensiones superiores a 230 kV

En el caso de contar con pantalla de contacto se debe seguir el código de colores indicado anteriormente y se deben indicar los compartimientos que integran la bahía.

- e) Control y protección de circuitos de alimentación de auxiliares de la bahía, mediante elementos tales como relevadores, arrancadores, interruptores termomagnéticos, fusibles, entre otros, requeridos para cada uno de estos circuitos.
- f) Enlace con el tablero de control, medición y protección de la subestación, mediante la instalación de tablillas y cableado

Para instalación interior el gabinete debe ser a prueba de polvo, con grado IP 61.

Para instalaciones exteriores debe ser a prueba de polvo y de agua, con grado IP 64.

Cada gabinete debe contar con alumbrado interior y resistencias calefactoras para evitar la condensación de humedad. Las puertas de acceso al gabinete se deben ubicar en la parte frontal del mismo y deben contar con bisagras, cerradura con llave y empaque.

### ***Cableado***

La cubierta exterior de los cables de control y/o fuerza debe ser del tipo libre de halógeno (anti-flama y retardante al fuego). Todo el cableado se debe conectar a tablillas terminales en el gabinete y estar adecuadamente identificado tanto el cable como las tablillas.

El arreglo del cableado no debe obstaculizar el acceso a los aparatos e instrumentos del gabinete ni su reemplazo. El cableado se debe agrupar

en paquetes y asegurarse con medios de sujeción no metálicos.

No se deben efectuar empalmes en el trayecto de cables entre la subestación y los gabinetes.

El tipo de terminal para todo el cableado que se conecte a tablillas debe ser del tipo anillo o punta (espada) y sujetarse a las tablillas por medio de tornillos. No se permiten más de dos terminales de cableado por tornillo en tablillas.

Las terminales de circuitos de fuerza, control y medición o señalización se deben agrupar en secciones de tablillas diferentes.

Para el cable de control que interconecta el equipo de la subestación con el gabinete de control, se acepta el empleo de cable de conductores múltiples con terminales tipo clavija y enchufe en ambos extremos los cuales deben venir ya pre-dimensionados y probados de fábrica. Todo el cable de control debe ser blindado con pantalla metálica para evitar problemas de interferencia.

### ***Interruptores de potencia***

#### **Tipo**

Los interruptores deben ser del tipo tripolar en gas SF<sub>6</sub> con una sola presión como medio de extinción del arco, del tipo autosoplante (puffer), formado por tres polos o fases contenidos en envolventes metálicas a potencial a tierra, una por fase o para las tres fases (variante que se acepta solo en tensiones nominales de 145 kV o menores) y utilizando el mismo gas SF<sub>6</sub> como aislamiento principal entre las partes conductoras y tierra y entre contactos en posición abierta.

### **Secuencia de operación**

La secuencia nominal de operación para los interruptores de la subestación aislada debe ser la correspondiente a equipo para recierre rápido indicado en la norma IEC 62271-100 como sigue:

O - 0.3 segundo - CO - 3 minutos - CO

En donde:

- O representa una operación de apertura
- CO representa una operación de cierre seguida inmediatamente por una de apertura

### **Mecanismo de operación**

Los interruptores deben tener mecanismos de operación, los cuales deben contar con alguna forma de energía almacenada para su accionamiento.

Cada interruptor debe ser totalmente auto-contenido y contar con todos los elementos necesarios para operar en forma independiente (no se aceptan fuentes de energía almacenada centralizadas para varios interruptores), adicionalmente se requiere que en tensiones superiores a 145 kV cada polo cuente con su propio mecanismo y medios de control para operación monopolar; mientras que en tensiones de 145 kV o inferiores, se puede suministrar un mecanismo común a los tres polos o tripolar, dependiendo del diseño de cada fabricante.

El mecanismo debe poder ser operado mediante mando eléctrico local (desde el gabinete de control local de cada bahía), mando eléctrico remoto (desde el tablero de control, protección

y medición de la subestación) y contar con preparativos para el telecomando de interruptores y cuchillas, teleseñalización y teleindicación de alarmas desde las pantallas del cuarto de control de la subestación.

### **Tiempos de operación**

Los interruptores deben cumplir con los siguientes tiempos máximos de operación:

- a) Tiempo total de interrupción
  - 50 ms para equipo de 72.5 kV hasta 420 kV
- b) Tiempo máximo de cierre
  - 160 ms para equipo de todas las tensiones

### ***Cuchillas desconectadoras***

#### **Tipo**

Las cuchillas deben ser del tipo tripolar, en gas SF<sub>6</sub> como medio de aislamiento principal a tierra y entre contactos, e integrada por tres polos o fases contenidos en envolventes metálicas a potencial de tierra, una por fase o bien una para las tres fases (variante que sólo se acepta en tensiones nominales de 145 kV y menores), accionada por mecanismo operado a motor.

#### **Mecanismo de operación**

Cada cuchilla desconectadora debe estar provista de un mecanismo de operación monopolar o tripolar, accionado por un motor eléctrico, cuyas características se indican en la Tabla 2.31.

El mecanismo debe contar con los medios de acoplamiento mecánicos para accionar los tres polos de la cuchilla en forma simultánea. Como

alternativa se pueden proponer mecanismos a motor individuales por polo.

Los mecanismos de las cuchillas deben contar con mando eléctrico local y remoto.

Adicionalmente se requiere contar con un mando local que permita operar las cuchillas en forma manual, en caso de emergencia.

### ***Cuchillas de Puesta a Tierra***

Para dar seguridad durante trabajos de mantenimiento tanto al personal como al propio equipo, se requiere que todas las partes conductoras puedan ser conectadas a tierra, mediante cuchillas de puesta a tierra. La localización de las cuchillas de puesta a tierra se debe indicar en el diagrama unifilar, debiendo cumplir la condición de que cualquiera de los equipos de la subestación que requiere de mantenimiento o revisión, debe contar con puntos de conexión a tierra en ambos lados.

Las cuchillas de puesta a tierra deben de estar dentro de la envolvente metálica y deben ser accionadas por mecanismo a motor; se deben conectar eléctricamente a los contactos de las cuchillas principales para que su potencial sea cero; el aislamiento principal entre contactos y la envolvente metálica debe ser SF<sub>6</sub>. La cuchilla debe estar formada por tres polos, de operación independiente en el caso de subestaciones con envolventes monofásicos, y de operación tripolar en el caso de envolventes trifásicos (para tensiones de 145 kV o menores).

#### **Tipos**

Se requieren dos tipos de cuchillas de puesta a tierra, unas con velocidad de cierre lento y otras

de cierre rápido, con dispositivos de prueba y/o medición con aislamiento para 10 kV, estas últimas deben contar adicionalmente con una capacidad de cierre en corto circuito igual al valor pico de la corriente dinámica especificada para la subestación, para lo cual deben contar con alguna forma de energía almacenada en su mecanismo que les permita lograr la velocidad y energía requerida.

Las cuchillas de puesta a tierra de cierre rápido se requieren exclusivamente en las barras y en las entradas a la subestación, o sea los puntos de llegada de líneas o cables; o bien a la llegada de las conexiones de equipo de transformación. Todas las cuchillas restantes deben ser de cierre lento.

#### ***Transformadores de corriente***

Los transformadores de corriente utilizados en la subestación aislada, deben ser del tipo de barra pasante en SF<sub>6</sub> como aislamiento principal entre el primario y el devanado secundario. Los primarios de estos transformadores deben ser las propias barras conductoras de las bahías respectivas, mientras que los secundarios deben estar devanados sobre los núcleos anulares que forman el circuito magnético, siendo éstos del tipo interno o externo.

Los núcleos y devanados secundarios se deben alojar en una envolvente metálica conectada a potencial de tierra que garantice una distribución de campo homogénea con relación a las partes conductoras a potencial de línea.

Las terminales secundarias deben ser rematadas en tablillas cortocircuitables.

Las terminales de conexión (zapatillas) de la caja de conexiones del devanado del secundario se deben suministrar del tipo cerradas y en el calibre apropiado (no se aceptan zapatas abiertas).

#### **Número de devanados secundarios**

El número de devanados secundarios debe ser 4, para realizar la medición y protección.

Los devanados secundarios se requieren invariablemente, para una corriente nominal de 5 A.

#### **Factor de capacidad térmica**

Los transformadores de corriente deben tener un factor de capacidad térmica continua de 1.2 veces la corriente nominal, como mínimo.

#### ***Transformadores de potencial***

Los transformadores de potencial incluidos en la subestación blindada, deben ser del tipo inductivo, formados por un devanado primario, un núcleo magnético y devanados secundarios, de tal manera que no se presenten efectos de ferresonancia.

El proveedor debe entregar el estudio de ferresonancia correspondiente, el diseño de la subestación blindada aislada en gas SF<sub>6</sub> debe adecuarse modificando, en su caso, los elementos de ésta para que no se presente el efecto de ferresonancia. No se acepta el uso de dispositivos supresores de ferresonancia en los transformadores de potencial a ser instalados en las barras.

Todo el conjunto debe estar alojado en un compartimiento metálico a potencial a tierra, lleno



de gas SF<sub>6</sub> como aislamiento principal a tierra y entre devanados.

### Devanados

El devanado primario debe ser para un valor de tensión única, o sea de simple relación, los devanados secundarios deben ser dos en todos los casos, y su tensión, respectivamente, debe ser de 115 V y 69 V nominales. Las terminales de los devanados secundarios, deben llevarse a una caja de conexiones exterior donde deben rematarse en tablillas de terminales con portafusibles tipo botella, de la capacidad adecuada a cada uno de los secundarios.

### Capacidad térmica

La capacidad térmica total de cada transformador de potencial debe ser de un valor mínimo de 1 000 VA.

#### 2.3.7.22. Condiciones de seguridad

El fabricante debe proporcionar las herramientas y equipos especiales que se requieran para el mantenimiento del equipo que forma parte de la subestación aislada en gas.

Adicionalmente a los equipos especiales que el fabricante considere necesarios, se deben incluir los siguientes:

- a) Equipo(s) de seguridad personal para el manejo de residuos de descomposición del gas SF<sub>6</sub>,
- b) La subestación debe contar con una alarma audible (sonora) y óptica con luz intermitente, para el acceso en el cual el operador de la subestación esté trabajando sin permisivos de protección, para

realizar cualquier maniobra en la subestación. Esta alarma y luz intermitente deben estar ubicadas estratégicamente

En el caso de las subestaciones que cuentan con sistemas de control por botoneras las cuchillas a tierra deben tener una caja de protección plástica o algún otro tipo de protección en estos botones de mando.

### Marcado

El fabricante debe colocar placas de características por cada uno de los equipos y una placa de características de la subestación, de acero inoxidable y con letras de bajo relieve (no se aceptan letras de golpe), que contengan, como mínimo, la siguiente información:

- a) Marca o nombre del fabricante
- b) Número de serie
- c) Año de fabricación
- d) Tensión nominal (kV rcm )
- e) Corriente nominal (de barras y del alimentador) (A rcm)
- f) Frecuencia nominal (Hz)
- g) Nivel de aislamiento al impulso (kV cresta)
- h) Nivel de aislamiento a baja frecuencia (kV rcm)
- i) Corriente nominal de corta duración (kA rcm)
- j) Duración nominal de cortocircuito (segundos)
- k) Corriente nominal de interrupción (kA rcm)
- l) Factor de primer polo que abre
- m) Presión del gas SF<sub>6</sub> a 20 °C (MPa) en los diferentes compartimentos
- n) Masa total del gas requerido por bahía (kg)
- o) Masa por bahía con gas SF<sub>6</sub> (kg)

- p) Masa total de la subestación con gas SF<sub>6</sub>  
(kg)

### 2.3.8. SUBESTACIONES UNITARIAS

Las subestaciones unitarias reciben también el nombre de compactas, debido al poco espacio que ocupan dentro de una instalación, y se agrupan en dos tipos:

- a) Subestaciones unitarias primarias
- b) Subestaciones primarias secundarias

#### ***Subestaciones unitarias primarias***

Estas subestaciones se construyen en tipo intemperie e interior y generalmente operan con tensiones mayores de 600 V, ya sea para alimentar otras subestaciones secundarias, para interconectarse entre subestaciones; o bien para alimentar directamente grandes cargas.

En general las subestaciones primarias son utilizadas para alimentar cargas industriales, pero también son utilizadas en edificios y centros comerciales grandes.

Algunos arreglos típicos de subestaciones unitarias parten de conceptos elementales de distribución del equipo eléctrico en los tableros.

Algunas subestaciones de tipo unitarias, se pueden usar para alimentar a cargas directamente co-

nectadas al lado de baja tensión de la subestación, como es el caso de motores para grandes compresores que operan a voltajes mayores de 600 V.

#### ***Ventajas de las subestaciones unitarias***

Las ventajas son las siguientes:

1. Los módulos se diseñan para su conexión en distintos arreglos y se equipan con distintos componentes: de protección, de medición o equipos mayores como interruptores fusibles, desconectores, apartarrazos
2. Tienen un tamaño compacto
3. Se pueden instalar en recintos que son de acceso general, con algunas restricciones mínimas
4. Están protegidas contra efectos o agentes externos

Las subestaciones unitarias están constituidas por unidades o módulos, que tienen básicamente tres unidades:

- Unidad de alta tensión
- Unidad del transformador
- Unidad de baja tensión

Según sean las exigencias del servicio o la instalación, puede haber módulos o unidades adicionales con disposiciones de acuerdo a las necesidades específicas.

Tabla 2.27 Condiciones de servicio

| Descripción                                                              | Normal    |            | Especial     |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|--------------|-----------|
|                                                                          | Interior  | Exterior   | Interior     | Exterior  |
| Temperatura ambiente mínima (°C)                                         | -5 a -25  | -25 a -40  | -25          | -50       |
| Temperatura ambiente máxima (°C)                                         | +40       | +40        | +50          | +50       |
| Radiación solar (W/m ) <sup>2</sup>                                      | N/A       | 1 000      | N/A          | >1 000    |
| Altitud (m)                                                              | 1 000     | 1 000      | >1 000       | >1 000    |
| Clase de contaminación <sup>a</sup>                                      | N/A       | II         | II, III o IV | III o IV  |
| Revestimiento de hielo (mm) (Ice coating)                                | N/A       | 1, 10 ó 20 | N/A          | >20       |
| Viento (m/s)                                                             | N/A       | 34         | N/A          | >34       |
| Humedad (%)                                                              | 95        | 100        | 98           | 100       |
| Condensación o precipitación                                             | Ocasional | Si         | Si           | Si        |
| Clase de vibración                                                       | N/A       | N/A        | IEC 61166    | IEC 61166 |
| Perturbaciones electromagnéticas inducidas en un sistema secundario (kV) | 1.6       | 1.6        | >1.6         | >1.6      |

<sup>a</sup> Clases de contaminación II, III y IV de acuerdo la norma IEC 60815

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.28 Valores de pruebas dieléctricas y características nominales

| Características nominales de la sub-estación         | Unidades  | Tensiones nominales y máximas de diseño |             |             |             |
|------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                      |           | 400/420                                 | 230/245     | 115/123     | 69/72.5     |
| Tensión nominal                                      | kV eficaz | 400                                     | 230         | 115         | 69          |
| Frecuencia nominal                                   | Hz        | 60                                      |             |             |             |
| Corriente nominal en barras <sup>(3)</sup>           | A eficaz  | 2 000-3 150                             | 2 000-3 150 | 2 000-3 150 | 2 000-3 150 |
| Corriente nominal en bahías de salida                | A eficaz  | 2 000-3 150                             | 2 000-3 150 | 2 000-3 150 | 2 000-3 150 |
| Corriente de corta duración (1 s) <sup>(2)</sup>     | kA eficaz | 40                                      | 40          | 31.5        | 31.5        |
| Corriente dinámica de corto circuito                 | kA cresta | 104                                     | 104         | 82          | 82          |
| Tensión de aguante al impulso por rayo (1.2 x 50 ms) | kV cresta | 1 425                                   | 1 050       | 550         | 325         |
| Tensión de aguante al impulso por maniobra           | kV cresta | 1 050                                   | --          | --          | --          |
| Tensión de aguante a 60 Hz (1 min)                   | kV eficaz | 520                                     | 460         | 230         | 140         |
| Nivel de descargas parciales <sup>(1)</sup>          | rC        | 5                                       | 5           | 5           | 5           |

NOTAS:

1. La prueba se debe realizar conforme a la norma IEC 62271-203 y se debe efectuar en conjuntos o ensambles parciales de la subestación que integre una bahía
2. Salvo que se especifique otro valor en características particulares, el nivel corto seleccionado debe invariablemente verificarse con el estudio de corto circuito más reciente para falla monofásica y trifásica del valor de la red
3. Se debe indicar en las Características Particulares la corriente nominal de alta y media tensión

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.29 Corrientes de operación y de interrupción

| Tensión nominal del interruptor de potencia (kV) | Corriente nominal (A) | Corriente de interrupción de cortocircuito (kA) | Corriente de interrupción en cables cargados (cables en vacío) (A) | Corriente de interrupción con línea cargada (línea en vacío) (A) |
|--------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 72.5                                             | 1 250                 | 20                                              | 125                                                                | 10                                                               |
|                                                  |                       | 25                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  |                       | 31.5                                            |                                                                    |                                                                  |
| 123                                              | 1 250                 | 25                                              | 140                                                                | 31.5                                                             |
|                                                  | 1 600                 | 31.5                                            |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 000                 | 40                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 3 150                 | 50                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  |                       | 63                                              |                                                                    |                                                                  |
| 145                                              | 1 250                 | 31.5                                            | 160                                                                | 50                                                               |
|                                                  | 1 600                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 000                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 1 600                 | 40                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 000                 | 50                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 3 150                 | 63                                              |                                                                    |                                                                  |
| 170                                              | 1 250                 | 31.5                                            | 160                                                                | 63                                                               |
|                                                  | 1 600                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 000                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 1 600                 | 40                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 000                 | 50                                              |                                                                    |                                                                  |
| 245                                              | 2 000                 | 40                                              | 250                                                                | 125                                                              |
|                                                  | 2 500                 | 50                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 3 150                 | 63                                              |                                                                    |                                                                  |
| 420                                              | 1 600                 | 31.5                                            | 400                                                                | 400                                                              |
|                                                  | 2 000                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 000                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 500                 | 40                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 000                 | 50                                              |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 2 500                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |
|                                                  | 3 150                 |                                                 |                                                                    |                                                                  |

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.30 Tensiones para las funciones de control

| Tensión nominal (V c.d.) | Intervalo de variación (V c.d.) |           |           |
|--------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|
|                          | Activación (disparo)            | Cierre    | Otras     |
| 125                      | 70 – 140                        | 90 – 130  | 90 – 130  |
| 250                      | 140 – 280                       | 180 – 250 | 180 – 250 |

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.31 Tensiones para alimentación de motores

| Tensión nominal            | Intervalo de variación (%.) |
|----------------------------|-----------------------------|
| 480 V c.a; 3 $\phi$ ; 60Hz | 85-110                      |
| 460 V c.a; 3 $\phi$ ; 60Hz | 85-110                      |
| 254 V c.a; 1 $\phi$ ; 60Hz | 85-110                      |
| 220 V c.a; 3 $\phi$ ; 60Hz | 85-110                      |
| 127 V c.a; 1 $\phi$ ; 60Hz | 85-110                      |
| 125 V c.a.                 | 85-110                      |
| 250V c.d.                  | 85-110                      |

Fuente: CFE VY200-40

Tabla 2.32 Tensiones para resistencias calefactoras

| Tensión nominal            | Intervalo de variación (%.) |
|----------------------------|-----------------------------|
| 480 V c.a; 3 $\phi$ ; 60Hz | $\pm 10$                    |
| 460 V c.a; 3 $\phi$ ; 60Hz | $\pm 10$                    |
| 254 V c.a; 1 $\phi$ ; 60Hz | $\pm 10$                    |
| 220 V c.a; 3 $\phi$ ; 60Hz | $\pm 10$                    |
| 127 V c.a; 1 $\phi$ ; 60Hz | $\pm 10$                    |

Fuente: CFE VY200-40

## 2.4. TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN Y POTENCIA<sup>3</sup>

### 2.4.1. TIPO DE ALIMENTACIÓN

Para la selección de un transformador es necesario considerar los siguientes aspectos:

#### 2.4.1.1. Transformador de distribución

Se define como aquél con tensión primaria de 2.4 a 34.5 kV y con una capacidad máxima de 500 kVA, ver Ilustración 2.17.

#### 2.4.1.2. Transformador de potencia

Son los transformadores de 750 kVA y hasta de 5 000 kVA.

#### 2.4.1.3. Autotransformadores

Para autotransformadores, la parte compartida por los circuitos primarios y secundarios, se le llama devanado común, la restante se le llama devanado serie.

Para la operación a tensión mayor que la nominal o a frecuencia menor que la nominal deben operar continuamente sin carga, con tensión mayor que la nominal o frecuencia menor que la nominal en cualquier derivación, sin exceder los límites de elevación de temperatura, cuando la tensión o la relación volt por hertz sea menor igual que 10 % de los valores nominales y solo se aplica únicamente a las condiciones de carga

que se usan como base para el diseño, en ningún caso los kVA de salida continuos, deben exceder las capacidades nominales de los devanados para la tolerancia de la impedancia de un autotransformador debe tener una tolerancia de hasta  $\pm 10\%$  del valor que se especifica para este .

La selección de autotransformadores deberá estar basada en la NMX-J-284

#### 2.4.1.4. Características normativas

Para la correcta selección de transformadores de distribución y potencia deberá tomarse en cuenta que estos cumplan con la normatividad nacional, internacional y extranjera. Los transformadores deben ser diseñados y construidos de acuerdo a las normas mexicanas (NMX), cumplir con las pruebas y especificaciones de transformadores.

Las tensiones aplicadas en transformadores de distribución y de potencia, tanto monofásicos como trifásicos se indican con precisión en la Tabla 2.2 tensiones eléctricas normalizadas.

### 2.4.2. CAPACIDAD

La capacidad de un transformador está dada por la magnitud de la carga que puede alimentar.

#### **Capacidades normalizadas**

Las capacidades normalizadas para transformadores de potencia se muestran en la Tabla 2.33 se muestran las capacidades normalizadas para

<sup>3</sup> Fuente: CFE-K0000, NMX-J-284, NMX-J-351, NMX-J-168, NOM-002-SEDE, CFE-K0000-13, NMX-J-116, NMX-J-351, NOM-002-SEDE

Ilustración 2.17 Transformador de distribución y transformador de potencia resistencia anti-condensación



transformadores de distribución, así mismo se muestra las eficiencias mínimas permitida para transformadores de distribución.

#### ***Impedancias normalizadas***

Los valores de impedancias para los distintos tipos de transformadores se indican en la Tabla 2.34, Tabla 2.35 y Tabla 2.36.

##### **2.4.2.1. Transformadores de distribución**

La capacidad y la impedancia de los transformadores de distribución están normalizadas; los valores se muestran en la Tabla 2.35 y Tabla 2.36. Ver Ilustración 2.18.

##### **2.4.2.2. Transformadores de potencia**

Cuando el transformador alimenta una carga permanente, ésta se especificará para una elevación de temperatura de 65 °C.

En caso de requerirse una capacidad de emergencia, pueden proporcionar un 12 por ciento

adicional, especificando su capacidad permanente a una elevación de temperatura de 55 °C a 65 °C. Ver Ilustración 2.19.

La impedancia de un transformador de potencia se determina a partir de los cálculos de regulación de tensión y de corto circuito del sistema de distribución interno. Ésta también se puede obtener a partir de la Tabla 2.35.

##### **2.4.2.3. Transformador de servicios propios**

#### ***Transformadores de servicios propios conectados a devanados terciarios***

Debido a las condiciones severas de corto circuito a que pueden estar sujetos los bancos de transformación (sobre todo en el caso de los autotransformadores), se requiere que tanto el devanado terciario como el equipo asociado a éste cumplan con los requerimientos de la instalación. En el caso de que los transformadores de servicios propios, existe la necesidad, por razones de fácil adquisición, construcción y mantenimiento, delimitar algunas de sus características de operación, lo que define también su aplicación específica.



Ilustración 2.18 Transformador de distribución



Ilustración 2.19 Transformador de potencia



Para tal efecto se establece lo siguiente:

- a) Impedancia nominal de 4 a 6%
- b) Capacidad nominal mínima 150 kVA

#### 2.4.3. NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO

Un transformador debe ser capaz de soportar sobretensiones transitorias originadas básicamente por descargas atmosféricas en las líneas de alimentación, por lo que su diseño debe contemplarlo. A esto se le denomina nivel básico al impulso. Los valores normalizados de NBAI para los diferentes tipos de transformadores se muestran en las Tabla 2.37 y Tabla 2.38.

#### 2.4.4. CLASE DE ENFRIAMIENTO

Para la selección del tipo de enfriamiento tomar datos de Tabla 2.39.

Los transformadores de acuerdo con el tipo de enfriamiento, se clasifican en:

1. **Transformadores auto enfriados en aire (AA).** Son los transformadores cuyo enfriamiento está dado por la circulación natural del aire al tener contacto con el núcleo y bobinas, también con la superficie del tanque cuando el transformador cuente con éste.
2. **Transformadores auto enfriados en aceite (OA).** Son los que tienen el núcleo y los devanados sumergidos en aceite aislante; el enfriamiento se realiza mediante la circulación natural del aire en contacto con la superficie del tanque del transformador.
3. **Transformadores auto enfriados en aceite y con enfriamiento forzado de**

**aire (OA/FA).** Este sistema de enfriamiento es similar al anterior (OA), y la diferencia es que está dotado de ventiladores que provocan una circulación de aire forzado a través de los radiadores de enfriamiento. Estos transformadores tienen dos capacidades; la primera es OA, que permite pérdidas de calor por disipación por la superficie del tanque y radiadores, sin operar los ventiladores; y la segunda a través de ventiladores, con los cuales se obtiene del transformador su capacidad máxima dentro de su temperatura de operación.

Los transformadores de potencia hasta 5 000 kVA, pueden ser fabricados auto enfriados en aceite (OA) o auto enfriados en aceite y con enfriamiento de aire forzado (OA/FA). Será OA cuando se tenga una carga permanente o FA cuando se tenga una carga intermitente o de emergencia.

#### 2.4.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

##### 2.4.5.1. Temperatura de operación

Para seleccionar adecuadamente la temperatura de operación, debe conocerse y considerarse lo siguiente:

- a) Incremento de temperatura permisible. Los transformadores sujetos a esta especificación deben ser capaces de operar a su capacidad plena siempre que la temperatura ambiente no exceda de 40 °C y la temperatura promedio del ambiente durante cualquier periodo de 24 horas no exceda de 30 °C. La elevación de temperatura de los devanados y punto más caliente a ten-

siones y frecuencias nominales y a capacidad plena, puede ser hasta de 55 °C y 65 °C respectivamente, medida por el método de resistencia sobre una temperatura ambiente máxima de 40 °C. Con un incremento de 12 % de capacidad, la elevación media de temperatura en el devanado puede incrementarse hasta 10 °C y en el punto más caliente hasta 15 °C, con respecto a la elevación media de temperatura a la capacidad nominal

- b) Clase de aislamiento. Es el término usado para especificar la temperatura de operación de los tipos de aislamiento, Tabla 2.40
- c) Corrección de incremento de temperatura permisible al variar la altitud de operación. Para altitudes mayores de 1000 m deben aplicarse los factores indicados en la Tabla 2.40, Tabla 2.41, Tabla 2.42, Tabla 2.43,

Los límites de temperatura de operación de los transformadores de distribución está dada por el tipo de aislamiento empleado, la cual se indica en la Tabla 2.44.

#### 2.4.5.2. Altitud de operación

Los aislamientos externos como los de las boquillas de los transformadores son diseñados para operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m, cuando la altitud del sitio de instalación sea mayor, en el diseño deben aplicarse los factores de corrección indicados en la Tabla 2.45, ya que la rigidez dieléctrica de un aislamiento disminuye al incrementarse su altura de operación, en la Tabla 2.43 se muestran los factores de corrección.

#### 2.4.5.3. Tipo de atmósfera

Un factor importante que se debe considerar es el tipo de atmósfera que se tiene en el lugar de la

instalación. Básicamente se consideran dos tipos de atmósfera.

1. De contaminación media. Que se caracterizan por ser sitios con lluvias intensas, lluvia marina ligera, de suelos sometidos a la acción de fertilizantes e irrigación de plaguicidas. Los lugares que normalmente tienen este tipo de contaminación son:
  - a) Sitios a más de 50 km de la costa
  - b) Campos agrícolas
  - c) Ciudades sin industrias contaminantes
  - d) Lugares a más de 30 Km de industrias contaminantes
2. De contaminación alta. Que se caracterizan por ser sitios con lluvias salinas y alta humedad. Los lugares que normalmente tienen este tipo de contaminación son:
  - a) Sitios a menos de 50 Km de la costa
  - b) Sitios cercanos a plantas que producen o consumen carbón, plantas petroquímicas, cementeras y acereras

En los sitios con alta contaminación, las boquillas de los transformadores deberán seleccionarse con una distancia de fuga mayor, de acuerdo a la Tabla 2.46.

### 2.4.6. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Éstas deben ser analizadas detalladamente, puesto que son los datos que se registrarán en la especificación para la adquisición del equipo.

#### 2.4.6.1. Corriente de excitación

La corriente de excitación es aquella que circula a través de las terminales de un devanado cuando se le aplica tensión nominal a frecuencia nominal, manteniéndose los otros devanados en circuito abierto,

se expresa en por ciento con respecto a la corriente nominal de alimentación. Esta no debe ser mayor de 2 por ciento para todos los transformadores monofásicos y para transformadores trifásicos mayores de 45 kVA. Para transformadores trifásicos de hasta 45 kVA no debe ser mayor de 2.4 por ciento. Para transformadores polifásicos, las corrientes de excitación en las diferentes terminales pueden ser diferentes. Si los valores de estas corrientes no se dan separadamente, la corriente de excitación es la media aritmética de estas corrientes.

#### 2.4.6.2. Tensión de las derivaciones

La diferencia de las tensiones extremas con respecto a la nominal no debe exceder del 10 por ciento. Las derivaciones deben ser del 2.5 por ciento c/u de la tensión nominal, dos arriba y dos abajo.

#### 2.4.6.3. Número de fases

Los transformadores comerciales, de acuerdo al número de fases con que se alimentan, se clasifican en:

- a) Monofásicos
- b) Trifásicos

#### 2.4.6.4. Tipos de conexión

Las conexiones más empleadas en el sector hídrico son:

- a) Delta estrella con neutro a tierra
- b) Delta

#### NOTA IMPORTANTE:

Para mayor abundamiento en caso de ser necesario consultar las NMX-J-351.

- c) Delta abierta
- d) Estrella

#### 2.4.6.5. Tipo de servicio

Los transformadores de acuerdo al tipo de servicio se dividen en: servicio interior y servicio exterior o intemperie.

#### 2.4.6.6. Transformadores de distribución

##### **Boquillas**

Las boquillas están normalizadas de acuerdo a la corriente y tensiones de los transformadores. El fabricante, de acuerdo a la capacidad, tensiones primaria y secundaria, realiza la selección de las mismas. Adicional a lo anterior, se debe considerar el tipo de atmósfera, ver la Tabla 2.46.

##### **Accesorios e instrumentación**

Para el montaje de transformadores de distribución deberán seleccionarse accesorios e instrumentos normalizados para tal fin requeridos, los cuales están indicados en la Tabla 2.47 y Tabla 2.48.

##### **Localización de boquillas**

Para transformadores montados en poste, la localización de las boquillas de alta tensión es sobre la tapa del transformador y las de baja tensión en la pared frontal del tanque del transformador. Para transformadores montados en piso se pueden presentar los siguientes casos:

- a) Las boquillas de alta tensión también pueden estar sobre la tapa del transfor-

mador y las de baja tensión en la pared frontal

- b) Las boquillas de alta tensión pueden estar en la pared trasera del transformador y las de baja tensión en la pared frontal, donde en este último caso se requieren gargantas, estas características son propias de transformadores para subestaciones eléctricas compactas

### ***Preservación del líquido aislante***

Los transformadores deben ser contruidos con un tanque hermético con objeto de preservar el aceite. El transformador debe permanecer perfectamente sellado desde una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  a un máximo de  $105^{\circ}\text{C}$  en la parte superior del líquido aislante.

#### **2.4.6.7. Transformadores de potencia**

### ***Accesorios e instrumentos***

Estos se muestran en la Tabla 2.47 y Tabla 2.48.

### ***Localización de boquillas***

Las boquillas se localizarán tomando en cuenta los siguientes casos:

- a) El transformador se montará en una subestación convencional (abierta), por lo tanto la alimentación primaria será aérea y las boquillas de alta tensión se localizarán en la tapa del tanque; la ali-

mentación del secundario será con cables requiriéndose una caja de conexiones cuyas dimensiones permitan alojar los cables

- b) El transformador se acoplará a una subestación unitaria

### ***Preservación del líquido aislante***

Los transformadores deben estar equipados con alguno de los sistemas de preservación del líquido aislante que a continuación se describen:

- a) Sistema de tanque sellado. Es aquel en donde el interior del tanque se sella aislándolo de la atmósfera, y el gas más el volumen del líquido aislante permanecen constantes en todo el intervalo de temperatura. Se debe proveer en la parte superior del transformador un dispositivo de purga de presión-vacío ajustado para operar a las presiones de 45 kPa ( $\pm 0.45 \text{ kg/cm}^2$ )
- b) Sistema de gas inerte. Es aquel en el cual en el interior del tanque que está sellado con respecto a la atmósfera en todo el intervalo de temperatura especificado por medio de una presión positiva del gas inerte mantenida de una fuente separada de gas inerte y un sistema de válvula reductora. El sistema debe mantener la presión positiva, de tal manera que ésta no sea menor de 7 kPa ( $0.07 \text{ kg/cm}^2$ ) ni mayor de 56 kPa ( $0.56 \text{ kg/cm}^2$ )
- c) Sistema con tanque de expansión. En este sistema, el líquido aislante contenido en el tanque principal es sellado de la atmósfera en todo el intervalo de

temperatura especificado, y se lleva a cabo por medio de un tanque auxiliar previamente lleno de líquido aislante y conectado al tanque principal

Considerar que: El gas del tanque de expansión puede estar aislado de la atmósfera por medio de los siguientes dispositivos:

1. Respiración a través de un desecador
2. Sello con gas inerte aislado de la atmósfera mediante una bolsa o diafragma
3. Recomendaciones generales de los sistemas de conservación de líquido aislante

Si no se indica lo contrario, se recomienda que el sistema de tanque sellado sea usado en transformadores con capacidades de 500 a 7 500 kVA (OA), para capacidades superiores o iguales a 10 000 kVA se recomienda el sistema con tanque de expansión.

#### 2.4.6.8. Transformador de servicios propios

##### ***Transformadores de servicios propios conectados a red externa***

En el caso de transformadores de servicios propios conectados a las líneas de distribución, se recomienda estudiar técnica y económicamente el uso de una fuente reguladora para cada utilización, pudiendo protegerse de éstos con cuchillas fusible.

La transferencia automática de los servicios, deberá tomar en cuenta la detección adecuada de las tensiones de las tres fases y para su localización se utilizarán interruptores principales electromagnéticos. En todas las aplicaciones deberán considerarse los servicios propios normales más los correspondientes al mantenimiento, por lo que se estima que la capacidad del transformador de servicios propios no deberá ser menor de 300 kVA.

Tabla 2.33 Eficiencias mínimas en porcentaje, permitidas en transformadores de distribución

| Tipo de alimentación | Capacidad kVA | Nivel básico de aislamiento (%) |                                    |                                 |
|----------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
|                      |               | Hasta 95 kV<br>(Clase 15 kV)    | Hasta 150 kV<br>(Clase 18 y 25 kV) | Hasta 200 kV<br>(Clase 34,5 kV) |
| Monofásico           | 5             | 97.90                           | 97.80                              | 97.70                           |
|                      | 10            | 98.25                           | 98.15                              | 98.05                           |
|                      | 15            | 98.40                           | 98.30                              | 98.20                           |
|                      | 25            | 98.55                           | 98.45                              | 98.35                           |
|                      | 37.5          | 98.65                           | 98.55                              | 98.45                           |
|                      | 50            | 98.75                           | 98.65                              | 98.55                           |
|                      | 75            | 98.90                           | 98.80                              | 98.70                           |
|                      | 100           | 98.95                           | 98.85                              | 98.75                           |
| Trifásico            | 167           | 99.00                           | 98.90                              | 98.80                           |
|                      | 15            | 97.95                           | 97.85                              | 97.75                           |
|                      | 30            | 98.25                           | 98.15                              | 98.05                           |
|                      | 45            | 98.35                           | 98.25                              | 98.15                           |
|                      | 75            | 98.50                           | 98.40                              | 98.30                           |
|                      | 112.5         | 98.60                           | 98.50                              | 98.40                           |
|                      | 150           | 98.70                           | 98.60                              | 98.50                           |
|                      | 225           | 98.75                           | 98.65                              | 98.55                           |
|                      | 300           | 98.80                           | 98.70                              | 98.60                           |
|                      | 500           | 98.90                           | 98.80                              | 98.70                           |

NOTA - Los transformadores de distribución con capacidades intermedias a las contempladas en esta tabla deben cumplir con las eficiencias de la capacidad preferente inmediata superior.

Fuente: NOM-002-SEDE.

Tabla 2.34 Impedancia referida al devanado primario del transformador de potencia

| Tensión nominal devanado primario (kV) | Impedancia (%) |
|----------------------------------------|----------------|
| 34.5 y menores                         | 75             |
| 69                                     | 85             |
| 115                                    | 9              |
| 138                                    | 95             |

Fuente: CFE-K0000-13

Tabla 2.35 Valores límites de impedancia

| Clase de Aislamiento (kV) | Impedancia Z (%) Trifásicos    |                                       |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
|                           | Tipo poste 15 kV hasta 150 kVA | Tipo subestación 225 kVA hasta 500 kV |
| 1.2 a 15                  | 2.0 - 3.0                      | 2.5 - 5.0                             |
| 25                        | 2.0 - 3.5                      | 2.75 - 5.5                            |
| 34.5                      | 2.0 - 3.5                      | 3.0 - 5.75                            |

Fuente: NMX-J-116



Tabla 2.36 Valores límites de impedancia monofásicos

| Clase de aislamiento Kv | Impedancia Z (%)            |
|-------------------------|-----------------------------|
|                         | Monofásico de 5kVa a 167kVa |
| 1.2 a 15                | 1.5 a 3.00                  |
| 25                      | 1.5 a 3.25                  |
| 34.5                    | 1.5 a 3.50                  |

Fuente: NMX-J-116

Tabla 2.37 Niveles de aislamiento para transformadores de potencia clase II

| Tensión del sistema kV | Nivel de tensión de aguante al impulso para rayo normalizada kV(cresta) | Nivel de onda corta kV(cresta) | Nivel de tensión de aguante al impulso por maniobra normalizada (NBAIM) kV(cresta) | Prueba de tensión inducida (fase a tierra) |                           | Nivel de prueba de baja frecuencia kV (eficaz) |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------|
|                        |                                                                         |                                |                                                                                    | Nivel de una hora kV(eficaz)               | Nivel realzado kV(eficaz) |                                                |
| 15 y menor             | 110                                                                     | 120                            |                                                                                    |                                            |                           | 34                                             |
| 25                     | 150                                                                     | 165                            |                                                                                    |                                            |                           | 50                                             |
| 34.5                   | 200                                                                     | 220                            |                                                                                    |                                            |                           | 70                                             |
| 46                     | 250                                                                     | 275                            |                                                                                    |                                            |                           | 95                                             |
| 69                     | 250                                                                     | 275                            |                                                                                    |                                            |                           | 95                                             |
|                        | 350                                                                     | 385                            |                                                                                    |                                            |                           | 140                                            |
| 85                     | 350                                                                     | 385                            |                                                                                    |                                            |                           | 140                                            |
|                        | 450                                                                     | 495                            |                                                                                    |                                            |                           | 185                                            |
| 115                    | 350                                                                     | 385                            | 280                                                                                | 105                                        | 120                       | 140                                            |
|                        | 450                                                                     | 495                            | 375                                                                                | 105                                        | 120                       | 185                                            |
|                        | 550                                                                     | 605                            | 460                                                                                | 105                                        | 120                       | 230                                            |
| 138                    | 450                                                                     | 495                            | 375                                                                                | 125                                        | 145                       | 185                                            |
|                        | 550                                                                     | 605                            | 460                                                                                | 125                                        | 145                       | 230                                            |
|                        | 650                                                                     | 715                            | 540                                                                                | 125                                        | 145                       | 275                                            |
| 161                    | 550                                                                     | 605                            | 460                                                                                | 145                                        | 170                       | 230                                            |
|                        | 650                                                                     | 715                            | 540                                                                                | 145                                        | 170                       | 275                                            |
|                        | 750                                                                     | 825                            | 620                                                                                | 145                                        | 170                       | 325                                            |
| 230                    | 650                                                                     | 715                            | 540                                                                                | 210                                        | 240                       | 275                                            |
|                        | 750                                                                     | 825                            | 620                                                                                | 210                                        | 240                       | 325                                            |
|                        | 825                                                                     | 905                            | 685                                                                                | 210                                        | 240                       | 360                                            |
|                        | 900                                                                     | 990                            | 745                                                                                | 210                                        | 240                       | 395                                            |
|                        | 1 050                                                                   | 1 155                          | 870                                                                                | 210                                        | 240                       | 460                                            |
| 400                    | 1 300                                                                   | 1 430                          | 1 080                                                                              | 365                                        | 415                       |                                                |
|                        | 1 425                                                                   | 1 570                          | 1 180                                                                              | 365                                        | 415                       |                                                |
|                        | 1 550                                                                   | 1 705                          | 1 290                                                                              | 365                                        | 415                       |                                                |
|                        | 1 675                                                                   | 1 845                          | 1 390                                                                              | 365                                        |                           |                                                |

Notas:

Para pruebas de onda cortada, el tiempo mínimo del corte debe ser 3 $\mu$ s excepto para 110 kV NBAI, el cual debe ser 2,0  $\mu$ s  
A pesar de que la columna 4 establece los niveles de impulso por maniobra de fase a tierra, no siempre es posible probar a esos niveles en devanados de baja tensión

Las columnas 5 y 6 indican los niveles de prueba de fase a tierra que normalmente se aplican a devanados en estrella. Cuando el nivel de la tensión de prueba se mide de fase a fase, como es el caso normal de devanados en delta, los niveles en la columna 5 deben multiplicarse por 1.732 para obtener el nivel de tensión inducida de prueba de fase a fase que se requiere.

La prueba de tensión aplicada no es aplicable al as terminales de línea de los devanados en estrella, a menos que se especifiquen para aplicaciones en sistemas no aterrizados.

Los niveles de aislamiento para los devanados de alta y baja tensión de los transformadores de potencia clase II deben seleccionarse de acuerdo con esta tabla

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.38 Niveles de aislamiento dieléctrico para transformador tipo seco utilizados en sistemas (60Hz) con NBI de 200kV y menores

| Nivel básico de aislamiento al impulso (NBI) <sup>a)</sup> | Nivel de aislamiento (tensión afrecuencia del sistema) | Prueba de impulso <sup>b)</sup> |                        |                                    |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------------------|
|                                                            |                                                        | Onda plena 1, 2/50 $\mu$ s      | Onda corta (kV) cresta | Tiempo mínimo de arqueo ( $\mu$ s) |
| 10                                                         | 4                                                      | 10                              | 10                     | 1.0                                |
| 20                                                         | 10                                                     | 20                              | 20                     | 1.0                                |
| 30                                                         | 12                                                     | 30                              | 30                     | 1.0                                |
| 45                                                         | 19                                                     | 45                              | 45                     | 1.25                               |
| 60                                                         | 31                                                     | 60                              | 60                     | 1.5                                |
| 95                                                         | 34                                                     | 95                              | 95                     | 1.6                                |
| 110                                                        | 37                                                     | 110                             | 110                    | 1.8                                |
| 125                                                        | 40                                                     | 125                             | 125                    | 2.0                                |
| 150                                                        | 50                                                     | 150                             | 150                    | 2.25                               |
| 200                                                        | 70                                                     | 200                             | 200                    | 2.75                               |

a) Los niveles de aislamiento a la frecuencia del sistema aplican a los niveles normalizados. El nivel de prueba por tensión de baja frecuencia para devanados con Y-puesta a tierra debe ser 10 kV (excepto para devanados de 1.2 kV y menores, que debe ser de 4 kV).

b) Debe utilizarse una forma de onda de impulso de polaridad positiva.

Fuente: NMX-J351

Tabla 2.39 Capacidades normalizadas para transformadores de potencia

| Capacidad (MVA) | Clase de enfriamiento |
|-----------------|-----------------------|
| 5/6,25          | ONAN/ONAF             |
| 7,5/9,375       | ONAN/ONAF             |
| 12/16/20        | ONAN/ONAF/ONAF        |
| 18/24/30        | ONAN/ONAF/ONAF        |
| 24/32/40        | ONAN/ONAF/ONAF        |

Fuente: CFE-K0000

Tabla 2.40 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento referida a una altura de 1 000 metros sobre el nivel del mar

| Clase de aislamiento          | Temperatura ambiente 30°C |                             | Temperatura ambiente 55°C |                             |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|                               | Temperatura promedio °C   | Temperatura más caliente °C | Temperatura promedio °C   | Temperatura más caliente °C |
| Clase 105 sumergido en aceite | 55                        | 65                          | 30                        | 40                          |
| Clase 105 tipo seco           | 55                        | 65                          | 30                        | 40                          |
| Clase 130 tipo seco           | 80                        | 110                         | 55                        | 85                          |

Fuente: NMX-J-168

Tabla 2.41 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m, para transformadores sumergidos en líquido aislante

| Tipo de enfriamiento                          | Factores de corrección por cada 100 m(%) |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------|
| Auto enfriados                                | 0.4                                      |
| Enfriados por agua                            | 0.0                                      |
| Enfriado con aire forzado                     | 0.5                                      |
| Enfriado con aire y líquido aislante forzados | 0.5                                      |
| Enfriados agua y líquido aislante forzados    | 0.0                                      |

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.42 Factores de corrección de los kVA para altitudes mayores de 1 000 m

| Tipo de enfriamiento                | Factores de corrección (%) |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Tipo seco auto enfriado             | 0.3                        |
| Tipo seco enfriado por aire forzado | 0.5                        |

Fuente: NMX-J-351

Tabla 2.43 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m

| Tipo de enfriamiento                                   | Factor de corrección por cada 100 metros |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Auto enfriado sumergidos en líquido aislante (Tipo OA) | 0.4 %                                    |
| Tipo OA/FA                                             | 0.5 %                                    |

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.44 Límites de elevación de temperatura

| Temperatura del sistema aislante °C | Promedio de elevación de temperatura de los devanados por el método de resistencia °C <sup>b)</sup> | Elevación de temperatura del devanado (punto más caliente)°C |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 130                                 | 75                                                                                                  | 90                                                           |
| 150                                 | 90                                                                                                  | 110                                                          |
| 180                                 | 115                                                                                                 | 140                                                          |
| 200                                 | 130                                                                                                 | 160                                                          |
| 220                                 | 150                                                                                                 | 180                                                          |

a) Basado en un promedio diario de temperatura ambiente de 30°C con una temperatura máxima de 40 °C

b) Valores mayores de la elevación de temperatura promedio de los devanados determinado por el método de resistencias pueden aplicarse si el fabricante provee los datos de prueba del diseño térmico que respaldan que los límites de temperatura de los aislamientos no se exceden

Fuente: NMX-J-351.

Tabla 2.45 Factores de corrección para la rigidez dieléctrica

| Altitud (m.s.n.m) | Factor de corrección por altitud |
|-------------------|----------------------------------|
| 1 000             | 1.00                             |
| 1 200             | 0.98                             |
| 1 500             | 0.95                             |
| 1 800             | 0.92                             |
| 2 100             | 0.89                             |
| 2 400             | 0.86                             |
| 2 700             | 0.83                             |

Fuente: NMX-J-284

Tabla 2.46 Distancia de fuga para boquillas de transformadores de distribución y potencia

| Contaminación | Tensión nominal (kV) | Distancia de fuga (cm/kV) |
|---------------|----------------------|---------------------------|
| Media         | 13.2-33              | 4.0                       |
| Alta          | 13.2-23              | 6.0                       |
| Alta          | 33                   | 5.0                       |

Tabla 2.47 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores monofásicos

| No. | Descripción                                              | Con una sola boquilla de media tensión, montada en la tapa (kVA) |          |     | Con dos boquillas de media tensión, montadas en la tapa                             |          |     |                           |          |     |
|-----|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|---------------------------|----------|-----|
|     |                                                          |                                                                  |          |     | Media tensión = E/E1 Y Donde E=25 000 V o menores E1 Y = 34 500 YTV o menores (kVA) |          |     | E=33.0 kV o 34.5 kV (kVA) |          |     |
|     |                                                          | 5 a 50                                                           | 75 a 100 | 167 | 5 a 50                                                                              | 75 a 100 | 167 | 5 a 50                    | 75 a 100 | 167 |
| 1   | Soporte para colgar tipo                                 | A                                                                | B        | B   | A                                                                                   | B        | B   | A1                        | B1       | B1  |
| 2   | Asas para sujetar el poste                               |                                                                  |          | X   |                                                                                     |          | X   |                           |          | X   |
| 3   | Tapón de drenaje y muestreo                              | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 4   | Marca del nivel de líquido                               |                                                                  |          | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 5   | Válvula de muestreo                                      | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   |          | X   | X                         | X        | X   |
| 6   | Marca de nivel del líquido                               | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 7   | Cambiador de derivaciones de operación interna o externa | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 8   | Registro de mano de obra                                 | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 9   | Aditamentos para levantar                                | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 10  | Conexiones del tanque a tierra tipo A                    | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 11  | Conexiones del tanque a tierra tipo B                    | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 12  | Puente de baja tensión a tierra                          | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        |     | X                         | X        |     |
| 13  | Válvula de alivio de sobre presión                       | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 14  | Boquillas terminales de media tensión y su localización  | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 15  | Boquillas terminales de baja tensión y su localización   | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 16  | Placa de datos y su localización                         | X                                                                | X        | X   | X                                                                                   | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 17  | Datos estarcido de la capacidad                          | X                                                                | X        | X   |                                                                                     | X        | X   | X                         | X        | X   |
| 18  | Dimensión L en mm                                        | 286                                                              | 590      | 610 | 286                                                                                 | 590      | 915 | 590                       | 915      | 915 |

Fuente: NMX-J-116

Tabla 2.48 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores trifásicos mayores de 150 kVA tipo subestación

|    |                                                                                            |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Combinación: válvula de drenaje, conexión inferior del filtro prensa y válvula de muestreo |
| 2  | Indicador magnético del nivel del líquido aislante                                         |
| 3  | Termómetro tipo cuadrante                                                                  |
| 4  | Conexión superior para el filtro prensa                                                    |
| 5  | Cambiador de derivaciones de operación externa                                             |
| 6  | Provisión para manovacuómetro indicador                                                    |
| 7  | Aditamento para palanqueo                                                                  |
| 8  | Registro de mano                                                                           |
| 9  | Aditamentos para levantar                                                                  |
| 10 | Conexión del tanque a tierra tipo B                                                        |
| 11 | Válvula de alivio de sobre presión                                                         |
| 12 | Boquillas terminales de media tensión y su localización                                    |
| 13 | Boquillas terminales de baja tensión y su localización                                     |
| 14 | Placa de datos y su localización                                                           |
| 15 | Dato estarcido de la capacidad                                                             |

Fuente: NMX-J-116

## 2.5. INTERRUPTORES<sup>4</sup>

Para la selección de un interruptor se deben determinar las características normativas, las características operativas y las condiciones ambientales.

### 2.5.1. CORRIENTE NOMINAL

Los interruptores no tienen capacidad continua de sobrecarga, por lo tanto cuando se seleccione su corriente nominal, ésta debe cubrir las sobrecargas que pueden circular estando en operación, ver Ilustración 2.20.

#### 2.5.1.1. Interruptores de media tensión

##### ***Corriente de interrupción de cortocircuito***

Los interruptores deben ser capaces de interrumpir la corriente de cortocircuito, bajo condiciones normales de operación, según IEC 56 3.105.42: el tiempo de cierre-apertura, c.a o tiempo de corto circuito es el intervalo de tiempo entre el instante cuando los contactos tocan el primer polo durante una operación de cierre y el instante cuando los contactos de arco se han separado en todos los polos durante la subsecuente operación de apertura.

**Nota:** A menos que se indique lo contrario, se asume que la barra de apertura incorporada en el interruptor se energiza en el instante en que los contactos tocan el primer polo durante el cierre. Esto representa el mínimo tiempo de

cierre-apertura. La corriente de cortocircuito mínima es de 8 kA eficaces.

##### ***Corriente sostenida de corta duración***

El interruptor debe ser capaz de conducir en posición de cerrado durante 60 ms y con un valor igual al de la corriente de interrupción de cortocircuito cuyo valor debe ser 2.5 veces el valor eficaz de la corriente de corto circuito, según IEC 56 3.105.45.

##### ***Corriente de cierre o valor cresta***

Los interruptores deben poder cerrar sin sufrir daños ni deformaciones permanentes, con una corriente (valor cresta) de cortocircuito a la tensión nominal, cuyo valor debe ser 2.54 veces al valor rmc de la corriente de interrupción de corto circuito.

##### ***Corriente nominal de interrupción en oposición de fases***

Los interruptores deben ser capaces de interrumpir la corriente nominal de interrupción en oposición de fases, su magnitud debe ser 630A valor eficaz, según IEC 56.

##### ***Tiempo de interrupción***

Considerado como el intervalo de tiempo transcurrido desde la energización de la bobina de activación (disparo) hasta la extinción completa del arco en todos los polos, éste debe ser como máximo 5 ciclos.

<sup>4</sup> Fuente: ANSI C37.16, NMX-J- 538/2



Ilustración 2.20 Interruptor



### ***Tiempo de cierre***

Es el intervalo de tiempo transcurrido desde la energización de la bobina de cierre, hasta el instante de toque o cierre de todos los polos, debe ser como máximo 10 ciclos, en frecuencia nominal de 60 Hz.

#### ***2.5.1.2. Interruptores de baja tensión***

La corriente nominal de un interruptor de baja tensión debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

##### ***Para interruptores electromagnéticos***

225 A, 600 A, 1 600 A, 2 000 A, 3 000 A y 4 000 A.

Los valores preferentes de corriente y tensión nominal, NBAI, corriente interruptiva de corto circuito para interruptores electromagnéticos en aire, se indican en la Tabla 2.49 y Tabla 2.50.

##### ***Para interruptores termomagnéticos***

15 A, 20 A, 30 A, 50 A, 70 A, 100 A, 150 A, 225 A, 400 A, 500 A, 600 A, 800 A, 1 000 A, 1 200 A, 2 000 A y 2 500 A.

##### ***Para interruptores de seguridad***

Las capacidades nominales para los interruptores de seguridad de servicio normal deben ser: 30, 60, 100, 200, 400 o 600 amperes. Las capacidades nominales para los interruptores de servicio pesado de tiro sencillo son: 30, 60, 100, 200, 400, 600, 800 y 1 200 amperes. Para los de doble tiro, las capacidades deben ser: 30, 60, 100, 200, 400 y 600 amperes.

## **2.5.2. CORRIENTES INTERRUPTIVAS DE CORTO CIRCUITO**

### ***2.5.2.1. Interruptores de media tensión***

La corriente interruptiva de cortocircuito debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

6 kA, 8 kA, 10 kA, 12.5 kA, 16 kA, 20 kA, 25 kA, 31.5 kA, 40 kA, 50 kA, 63 kA, 80 kA y 100 kA.

### ***2.5.2.2. Interruptores de baja tensión***

La corriente interruptiva de corto circuito debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

##### ***Para interruptores electromagnéticos***

14 kA, 22 kA, 25 kA, 30 kA, 42 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA y 130 kA.

##### ***Para interruptores termomagnéticos***

5 kA, 7.5 kA, 10 kA, 14 kA, 18 kA, 22 kA, 25 kA, 35 kA, 42 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA, 100 kA, 125 kA, 150 kA y 200 kA.

Aplicable a interruptores que tengan tamaño de marco hasta de 100 A tensiones nominales de 240 volts o menos.

##### ***Para interruptores de seguridad***

14 kA, 22 kA, 25 kA, 30 kA, 42 kA, 50 kA, 65 kA, 85 kA y 130 kA

### 2.5.3. Tensión Nominal

Los interruptores son diseñados y construidos de acuerdo a las normas de especificaciones.

#### 2.5.3.1. Tensión nominal para interruptores de media tensión

La tensión nominal de un interruptor de media tensión debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

Para tensiones menores de 34.5 kV

- a) SERIE I 3.6 kV, 7.2 kV, 12 kV, 17.5 kV, 24 kV y 34.5 kV
- b) SERIE II 4.76 kV, 8.25 kV, 15 kV, 15.5 kV, 25.8 kV y 34.5 kV

**Nota:** SERIE I Valores normalizados en países europeos para frecuencias de 50 Hz y 60 Hz. SERIE II Valores normalizados en E.U. y Canadá para frecuencias de 60 Hz

#### 2.5.3.2. Tensión nominal para interruptores de baja tensión

La tensión nominal de un interruptor de baja tensión debe ser seleccionada de los siguientes valores normalizados:

- a) Para Interruptores electromagnéticos: 240 V, 480 V y 600 V
- b) Para Interruptores termomagnéticos: 127 V, 240 V, 277 V, 480 V y 600 V
- c) Para Interruptores de seguridad. Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores de seguridad de servicio normal son: 140 y 250 volts c.a.; 125 y 220 volts c.d. Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores

de seguridad de servicio pesado son: 250, 480 y 600 volts en c.a. y 250 volts en c.d.

### 2.5.4. Tensión Máxima

#### 2.5.4.1. Tensión nominal para interruptores de baja tensión

Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores de seguridad de servicio normal son: 140 y 250 volts c.a.; 125 y 220 volts c.d.

Las tensiones máximas para las que se diseñan los interruptores de seguridad de servicio pesado son: 250, 480 y 600 volts en c.a. y 250 volts en c.d.

### 2.5.5. Tensión de Control

Corriente directa (c.d.) 48 V.c.d., 125 V.c.d. y 250 V.c.d.

Corriente alterna (c.a.) 127 V.c.a., 220 V.c.a. y 480 V.c.a.

### 2.5.6. Marco

Los tamaños nominales de marco deben ser de 30, 50, 70, 100, 150, 225, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1600, 2000 y 2500 amperes (ver Tabla 2.49 y Tabla 2.50).

### 2.5.7. Banda de Tiempo

Para la protección de interruptores automáticos que incorporan protecciones por corriente residual y se clasifican de acuerdo al retardo de tiempo en (NMX-J- 538/2) (ver Tabla 2.50):

- Sin retardo de tiempo: tipo no retardo de tiempo
- Con retardo de tiempo: tipo retardo de tiempo

- Con retardo de tiempo no ajustable
- Con retardo de tiempo ajustable

## 2.5.8. SECUENCIAS DE OPERACIÓN

De acuerdo con las recomendaciones de la IEC (Comisión Internacional de Electrotécnia), la secuencia nominal de operación de un interruptor, pueden ser las siguientes:

- O-3 min. - CO - 3 min. - CO
- CO - 15 s - CO
- 0.3 s - CO - 3 min. - CO (para interruptores con recierre automático)

Siendo:

O = Operación de apertura  
 C = Operación de cierre  
 CO = Operación de cierre seguida de una apertura

En interruptores de media tensión cuando no se tenga la alimentación eléctrica externa, el interruptor deberá contar con algún mecanismo de energía almacenada, con excepción de los mecanismos de resorte que deben contar con un material externo con el cual se debe cargar manualmente el resorte en un tiempo máximo estimado de tres minutos.

Los interruptores deben garantizar las siguientes diferencias en simultaneidad de tiempos de operación entre el primero y el último polo del interruptor:

- a) Operación de cierre: 5 milisegundos como máximo
- b) Operación de apertura: 3 milisegundos como máximo

## 2.5.9. CONDICIONES DE OPERACIÓN

### 2.5.9.1. Clasificación general

La Comisión Internacional de Electrotecnia (IEC) clasifica los interruptores de acuerdo a su tensión de operación en dos grupos:

1. Interruptores de media tensión
2. Interruptores de baja tensión

### 2.5.9.2. Clasificación de los interruptores de media tensión

Los interruptores de media tensión se dividen básicamente en dos grupos, clasificados de acuerdo con los elementos que intervienen en la apertura del arco de las cámaras de extinción.

1. Interruptores en gas. Los interruptores en SF<sub>6</sub>, pueden ser aplicados en sistemas de media tensión, ya que por su característica de alta rigidez dieléctrica del SF<sub>6</sub> lo hace un medio ideal para enfriar el arco aun a presiones bajas. Ocupan áreas reducidas ya que tienen capacidades dieléctricas superiores a otros fluidos, con lo cual las distancias se reducen. Son aplicables en subestaciones de distribución y servicios del sector de sistemas de distribución. Su mantenimiento es casi nulo, su costo es elevado pero amortizable a corto plazo
2. Interruptores en vacío. Este tipo de interruptores se utilizan en instalaciones de hasta 34.5 kV dentro de tableros blindados, deberá tenerse cuidado en su instalación y selección, ya que en estos interruptores si por alguna razón se llegara a perder el vacío, la cámara del interruptor

podría reventar. Este interruptor es muy compacto, el cual prácticamente no necesita mantenimiento y su precio es relativamente bajo. Siendo la operación del mecanismo de cierre o apertura de los siguientes 3 tipos:

- a) Tipo neumático. El fabricante deberá garantizar que el aire sea seco, de tal forma que el funcionamiento del mecanismo sea confiable
- b) Tipo hidráulico. Con accionamiento por medio de motor, que accione una bomba, compresor o cargue un resorte
- c) Tipo resorte. Utilizado como medio, de energía almacenada, accionado eléctricamente o por medio de un dispositivo mecánico

Según el tipo de mecanismo y medio de extinción, los tipos de alarmas y bloqueos son:

- a) Alarma por pérdida de presión en el mecanismo de operación y bloqueo para el aire
- b) Alarma por alta y baja presión en el sistema de aire
- c) Alarma por resorte descargado
- d) Alarma por pérdida de presión del gas ( $\text{SF}_6$ ) y bloqueo

#### 2.5.9.3. Clasificación de los interruptores de baja tensión

Los interruptores en baja tensión se clasifican básicamente en:

1. Interruptores electromagnéticos. Este tipo de interruptores pueden instalarse en sistemas de generación y distribución tanto industriales como comerciales. Estos interruptores están disponibles para montaje

fijo o montaje removible, pueden ser instalados en gabinetes en pared. Cuando se instalen interruptores hasta 1 600 A, éstos pueden ser instalados en gabinetes, en pared y de montaje fijo, o bien, en gabinetes autosoportables, del tipo removible. Normalmente este tipo de interruptores, cualquiera que sea su tamaño, cuentan con mecanismo integrado de energía almacenada y con sistema de protección electrónica de sobrecorriente. Se recomienda utilizar este tipo de interruptores cuando las necesidades de protección y de mando de los circuitos de distribución de baja tensión y alta potencia, es primordial

2. Interruptores termomagnéticos. Este tipo de interruptores son apropiados para usarse como interruptores generales o derivados, para protección de alimentadores principales y los equipos conectados a éstos. ofrece una protección completa para circuitos de distribución de baja tensión, al incorporar la protección de sobrecarga para los conductores y la protección contra corto circuito para todos los elementos del circuito como los propios conductores, motores y aparatos de control de éstos. Pueden ser utilizados en tableros de pared, tableros autosoportados, centros de control de motores, combinaciones con arrancadores de motores, sistemas de alumbrado, etc. Este tipo de interruptores pueden ser suministrados en capacidad interruptiva normal, que son los más usuales y que se adaptan a la mayoría de los sistemas de distribución, o bien, los de alta capacidad interruptiva cuando los niveles de corto circuito excedan la capacidad interruptiva de los interruptores de línea normal

3. Interruptores de seguridad (servicio normal o servicio pesado). Este tipo de inte-

ruptores representan la protección más segura contra fallas de corto circuito, debido a su respuesta casi instantánea. Sus aplicaciones más comunes son las siguientes:

- a) Servicio ligero. Este tipo de interruptores están diseñados para aplicaciones donde el número de operaciones no es frecuente, se recomiendan para residencias, edificios, comercios, talleres, etc. Proveen un medio seguro para desconectar una carga o abrir un circuito. Provistos de fusibles protegen contra sobrecarga y circuito corto
- b) Servicio pesado. Este tipo de interruptores están diseñados para aplicaciones donde el número de operaciones es muy frecuente y el requisito de seguridad, funcionamiento y continuidad es muy importante, se recomienda para aplicaciones comerciales, industriales, hospitales, servicios públicos, etc. Proveen un medio seguro para desconectar una carga o abrir un circuito. Provisto de fusibles protegen contra sobrecarga y cortocircuito

#### 2.5.9.4. Dispositivos de disparo

1. Interruptores termomagnéticos. El dispositivo de activación en derivación debe tener un contacto auxiliar normalmente abierto, conectado en serie con la bobina, excepto cuando la tensión de operación para la bobina se tome del lado de carga del interruptor, o cuando la bobina de activación en derivación es para trabajo continuo
  - a) Tensión de activación. El dispositivo de activación por baja tensión en corriente alterna como en corriente directa debe activarse cuando la tensión nominal de la bobina baje al 35 por
- cierto. Se acepta que se active cuando la tensión baje a un valor entre 70 y 35 por ciento
- b) Tensión de restablecimiento. El dispositivo de activación por baja tensión, con restablecimiento eléctrico, debe restablecerse a un 85% de su tensión nominal. Uno de restablecimiento mecánico debe permitir el establecimiento a esta misma tensión
2. Interruptor electromagnético. Los interruptores electromagnéticos deben tener unidades de activación por sobrecorriente de estado sólido, incluyendo los sensores de corriente, para protección en las tres fases y de fallas a tierra. Cada unidad de activación de interruptores electromagnéticos recibe la señal de tres sensores de corriente. Estas unidades de activación de los interruptores electromagnéticos deben poder calibrarse de acuerdo a las siguientes características:
  - a) Elemento de tiempo diferido largo (L)
    - Corriente: 0.5 a 1.25 veces del rango del sensor
    - Ajuste de tiempo: 4-36 segundos a 6 veces el rango del sensor
  - b) Elemento de tiempo diferido corto (S)
    - Corriente: 4 a 10 veces el rango del sensor
    - Ajuste de tiempo: 0.18 a 0.5 segundos
  - c) Elemento instantáneo (Y)
    - Corriente: 4 a 12 veces el rango del sensor
  - d) Elementos de falla a tierra (G)
    - Corriente: 0.2 veces la gama del sensor
    - Tiempo: 0.22 a 0.5 segundos
    - Interruptor de seguridad



En este tipo de interruptores se provocará la apertura del circuito por fase, en la fase o fases falladas en forma instantánea al fundirse el eslabón fusible que podrá ser de un sólo elemento o bien de doble elemento por fusible.

#### 2.5.9.5. Mecanismo de operación

- a) Interruptor termomagnético. El mecanismo de operación debe tener características de activación (disparo) libre.
- b) Interruptor electromagnético. Estos interruptores deberán contar con dispositivo mecánico instalado en el frente del interruptor para la activación manual, en caso de emergencia o prueba deberá tener activación libre, tanto mecánico como eléctrico.
- c) Interruptor de seguridad. Para abrir el interruptor la manija debe operar directamente las navajas sin necesidad de emplear resortes. El interruptor tendrá portacandado y portafusibles en el gabinete. El portafusibles debe llevar resortes auxiliares, abrazaderas o equivalente.

#### 2.5.9.6. Valores nominales de operación

Los principales valores nominales recomendados por normas internacionales y que intervienen directamente en la selección de un interruptor son los siguientes:

- a) Tensión nominal
- b) Tensión de operación
- c) Corriente nominal
- d) Corriente interruptora de corto circuito
- e) Capacidad interruptora en MVA (\*)
- f) Capacidad de cierre en corto circuito (\*)
- g) Corriente sostenida de corta duración

(\*\*)

- h) Frecuencia
- i) Secuencia nominal de operación (\*)
- j) Tensión nominal de control

**Nota 1:** Para (\*), no aplica para interruptores de baja tensión.

**Nota 2:** Para (\*\*), no aplican para interruptores termomagnéticos.

#### 2.5.10. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Para que las condiciones ambientales no afecten la operación correcta de los interruptores, se debe señalar altitud de operación, temperatura ambiente, elevación de temperatura, así como otras condiciones especiales existentes en el sitio de instalación como humedad relativa, corrosión, salinidad, contaminación y en general, cualquier otra que pueda afectar la operación correcta del equipo.

##### 2.5.10.1. Temperatura ambiente

1. Interruptores de media tensión. La temperatura ambiente máxima no debe exceder de 40° C y su valor promedio en un período de 24 horas, no debe exceder de 35° C. La temperatura ambiente mínima debe ser de -5° C para interruptores de servicio interior y -25° C para interruptores servicio intemperie. La elevación de temperatura de partes, materiales y dieléctricos en interruptores de alta tensión a una temperatura ambiente máxima de 40° C, no debe exceder este límite
2. Interruptores de baja tensión. La temperatura ambiente no debe exceder de 40° C, la temperatura ambiente mínima debe ser de -5° C, aunque un interruptor termo-

magnético puede operar en servicio continuo en una temperatura ambiente de  $40^{\circ} \pm 30^{\circ}\text{C}$  sin que se active automáticamente. Los interruptores de baja tensión tendrán los siguientes límites de temperatura en los puntos de conexión:

- a) Para Interruptores termomagnéticos la elevación de temperatura alcanza por cualquier terminal, zapata o cualquier otro punto de conexión no debe exceder de  $50^{\circ}\text{C}$  sobre la temperatura ambiente
- b) En los Interruptores electromagnéticos las temperaturas dependerán de las clases de aislamiento de los distintos materiales empleados en su construcción y de la prueba de elevación de temperatura con corriente nominal
- c) En Interruptores de seguridad ninguna parte debe tener una elevación de temperatura de más de  $30^{\circ}\text{C}$ , sobre la temperatura ambiente cuando se determine de acuerdo al método de elevación de temperatura

La elevación de temperatura de partes, materiales y dieléctricos en interruptores de baja tensión para temperatura ambiente máxima de  $40^{\circ}\text{C}$ , no debe exceder los límites de temperatura indicados en la Tabla 2.51.

#### 2.5.10.2. Altitud de operación en interruptores

##### ***Interruptores de media tensión***

Los valores normalizados para interruptores de media tensión están dados para operar en altitudes hasta de 1 000 m.s.n.m. El equipo normalizado puede ser operado en altitudes mayores si la tensión máxima de operación no es mayor que la tensión máxima de diseño o nominal del interruptor al ser afectado por los factores de corrección en la Tabla 2.52. La corriente nominal es reducida de acuerdo con los factores de corrección mostrados en la Tabla 2.53.

##### ***Interruptores de baja tensión***

Los valores normalizados para interruptores de baja tensión están dados para operar en altitudes hasta de 2 000 m.s.n.m. El equipo normalizado puede ser operado en altitudes mayores si la tensión de operación no es mayor que la tensión máxima de diseño o nominal del interruptor al ser afectada por los factores de corrección de la Tabla 2.54 Los valores del nivel de aislamiento se corrigen por efecto de la altitud aplicando los mismos factores indicados para corregir la tensión nominal. La corriente nominal es reducida de acuerdo con los factores de corrección de la Tabla 2.55.



Tabla 2.49 Características de interruptores en baja tensión con dispositivo de activación (disparo) instantáneo

| Línea número | Tensión nominal (volts) | Tensión máxima (volts) | Niveles de aislamiento dieléctrico | Corriente interruptiva trifásica (amperes simétricos) | Marco (Amperes) | Activación (disparo) instantáneo por sobrecorriente |
|--------------|-------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------|
| 1            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 14 000                                                | 225             | 40-225                                              |
| 2            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 22 000                                                | 600             | 40-600                                              |
| 3            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 22 000                                                | 800             | 100-800                                             |
| 4            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 42 000                                                | 1 600           | 200-1 600                                           |
| 5            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 42 000                                                | 2 000           | 200-2 000                                           |
| 6            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 65 000                                                | 3 000           | 2 000-3 000                                         |
| 7            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 65 000                                                | 3 200           | 2 000-3 200                                         |
| 8            | 600                     | 635                    | 2 200                              | 85 000                                                | 4 000           | 4 000                                               |
| 9            | 480                     | 508                    | 2 200                              | 14 000                                                | 225             | 40-225                                              |
| 10           | 480                     | 508                    | 2 200                              | 22 000                                                | 600             | 40-600                                              |
| 11           | 480                     | 508                    | 2 200                              | 22 000                                                | 8 000           | 100-800                                             |
| 12           | 480                     | 508                    | 2 200                              | 42 000                                                | 1 600           | 200-1 600                                           |
| 13           | 480                     | 508                    | 2 200                              | 50 000                                                | 2 000           | 200-2 000                                           |
| 14           | 480                     | 508                    | 2 200                              | 65 000                                                | 3 000           | 2 000-3 000                                         |
| 15           | 480                     | 508                    | 2 200                              | 65 000                                                | 3 200           | 2 000-3 200                                         |
| 16           | 480                     | 508                    | 2 200                              | 85 000                                                | 4 000           | 4 000                                               |
| 17           | 240                     | 250                    | 2 200                              | 14 000                                                | 225             | 40-225                                              |
| 18           | 240                     | 250                    | 2 200                              | 22 000                                                | 600             | 40-600                                              |
| 19           | 240                     | 250                    | 2 200                              | 22 000                                                | 800             | 100-800                                             |
| 20           | 240                     | 250                    | 2 200                              | 42 000                                                | 1 600           | 200-1 600                                           |
| 21           | 240                     | 250                    | 2 00                               | 50 000                                                | 2 000           | 200-2 000                                           |
| 22           | 240                     | 250                    | 2 200                              | 65 000                                                | 3 000           | 2 000-3 000                                         |
| 23           | 240                     | 250                    | 2 200                              | 65 000                                                | 3 200           | 2 000-3 200                                         |
| 24           | 240                     | 250                    | 2 200                              | 85 000                                                | 4 000           | 4 000                                               |

Fuente: ANSI C37.16

Tabla 2.50 Características de interruptores en baja tensión, sin dispositivo de activación (disparo) instantáneo

| Línea número | Tensión nominal (volts) | Tensión máxima (volts) | Niveles de aislamiento eléctrico | Corriente interruptiva trifásica (amperes simétricos) | Marco (amperes) | Banda de tiempo mínimo | Banda de tiempo intermedia | Banda de tiempo máxima |
|--------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 14 000                                                | 225             | 100-225                | 125-225                    | 150-225                |
| 2            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 22 000                                                | 600             | 175-600                | 200-600                    | 250-600                |
| 3            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 22 000                                                | 800             | 175-800                | 200-800                    | 250-800                |
| 4            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 42 000                                                | 1 600           | 350-1 600              | 400-1 600                  | 500-1 600              |
| 5            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 42 000                                                | 2 000           | 350-2 000              | 400-2 000                  | 500-2 000              |
| 6            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 65 000                                                | 3 000           | 2 000-3 000            | 2 000-3 000                | 2 000-3 000            |
| 7            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 65 000                                                | 3 200           | 2 000-3 200            | 2 000-3 200                | 2 000-3 200            |
| 8            | 600                     | 635                    | 2 200                            | 85 000                                                | 4 000           | 4 000                  | 4 000                      | 4 000                  |
| 9            | 480                     | 508                    | 2 200                            | 14 000                                                | 225             | 100-225                | 125-225                    | 150-225                |
| 10           | 480                     | 508                    | 2 200                            | 22 000                                                | 600             | 175-600                | 200-600                    | 250-600                |
| 11           | 480                     | 508                    | 2 200                            | 22 000                                                | 8 000           | 175-800                | 200-800                    | 250-800                |
| 12           | 480                     | 508                    | 2 200                            | 42 000                                                | 1 600           | 350-1 600              | 400-1 600                  | 500-1 600              |
| 13           | 480                     | 508                    | 2 200                            | 50 000                                                | 2 000           | 350-2 000              | 450-2 000                  | 500-2 000              |
| 14           | 480                     | 508                    | 2 200                            | 65 000                                                | 3 000           | 2 000-3 000            | 2 000-3 000                | 2 000-3 000            |
| 15           | 480                     | 508                    | 2 200                            | 65 000                                                | 3 200           | 2 000-3 200            | 2 000-3 200                | 2 000-3 200            |
| 16           | 480                     | 508                    | 2 200                            | 85 000                                                | 4 000           | 4 000                  | 4 000                      | 4 000                  |
| 17           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 14 000                                                | 225             | 100-225                | 125-225                    | 150-225                |
| 18           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 22 000                                                | 600             | 175-600                | 200-600                    | 250-600                |
| 19           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 22 000                                                | 800             | 175-800                | 200-800                    | 250-800                |
| 20           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 42 000                                                | 1 600           | 350-1 600              | 400-1 600                  | 500-1 600              |
| 21           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 50 000                                                | 2 000           | 350-2 000              | 400-2 000                  | 5 00-2 000             |
| 22           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 65 000                                                | 3 000           | 2 000-3 000            | 2 000-3 000                | 2 000-3 000            |
| 23           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 65 000                                                | 3 200           | 2 000-3 200            | 2 000-3 200                | 2 000-3 200            |
| 24           | 240                     | 250                    | 2 200                            | 85 000                                                | 4 000           | 4 000                  | 4 000                      | 4 000                  |

Fuente: ANSI C37.16

Tabla 2.51 Límites de temperatura y elevación para partes, materiales y dieléctricos en interruptores de baja tensión en aire

| No | Descripción de la parte , del material y el dieléctrico            | Valores máximos         |                                                                      |
|----|--------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|    |                                                                    | Temperaturas total 40°C | Elevación de temperatura en °C sobre su temperatura ambiente de 40°C |
| 1  | Contactos de cobre a aleaciones de cobre con o sin recubrimiento   | 105                     | 65                                                                   |
| 2  | Conductores con aislante termoplástico (ver nota 1)                | 100                     | 60                                                                   |
| 3  | Conductores con aislamiento de tela barnizada                      | 125                     | 85                                                                   |
| 4  | Fibras empleadas como aislantes eléctricos                         | 130                     | 90                                                                   |
| 5  | Madera y otros materiales combustibles                             | 130                     | 90                                                                   |
| 6  | Compuestos                                                         | 140                     | 100                                                                  |
| 7  | Melamina                                                           | 190                     | 150                                                                  |
| 8  | Compuestos fenólicos usados como aislantes eléctricos (ver nota 1) | 190                     | 150                                                                  |
| 9  | Compuestos sellados siendo la temperatura de ablandamiento         |                         | 15                                                                   |

Nota 1: Esta limitación no es aplicable a compuestos con propiedades especiales de resistencia al calor

Tabla 2.52 Factor de corrección de tensión

| Altitud en m.s.n.m | Factor de corrección de tensión |
|--------------------|---------------------------------|
| 1 000              | 1.00                            |
| 1 220              | 0.98                            |
| 1 525              | 0.95                            |
| 3 050              | 0.80                            |

Tabla 2.53 Factor de corrección de corriente

| Altitud en m.s.n.m | Factor de corrección de corriente |
|--------------------|-----------------------------------|
| 1 000              | 1.000                             |
| 1 220              | 0.996                             |
| 1 525              | 0.990                             |
| 3 050              | 0.960                             |

Tabla 2.54 Factores de corrección de tensión

| Altitud en m.s.n.m | Factor de corrección de tensión |
|--------------------|---------------------------------|
| 2 000              | 1.00                            |
| 2 600              | 0.95                            |
| 3 900              | 0.80                            |

Tabla 2.55 Factores de corrección de corriente

| Altitud en m.s.n.m | Factor de corrección de corriente |
|--------------------|-----------------------------------|
| 2 000              | 1.00                              |
| 2 600              | 0.99                              |
| 3 900              | 0.96                              |

## 2.6. COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO<sup>5</sup>

El procedimiento para coordinación de aislamiento consiste en la selección de la tensión máxima para el equipo y de un conjunto de tensiones de aguante nominales normalizadas correspondientes que caracterizan el aislamiento del equipo necesario para la aplicación.

### 2.6.1. TENSIÓN Y SOBRETENSIONES

Las tensiones y sobretensiones que esfuerzan el aislamiento deben determinarse en amplitud, forma y duración por medio de un análisis del sistema en el que se incluya la selección y localización de los dispositivos de prevención y limitación de sobretensiones.

Para cada clase de tensiones y sobretensiones, este análisis permite determinar una tensión y una sobretensión representativas, al considerar las características del aislamiento con respecto a su comportamiento ante las formas de tensión o sobretensión en el sistema y ante las formas de tensión normalizadas que se aplican en una prueba de tensión de aguante normalizada como se describe en la Tabla 2.56

### 2.6.2. TENSIÓN DE AGUANTE DE COORDINACIÓN

El procedimiento para la determinación de las tensiones de aguante de coordinación consiste

en determinar los valores más bajos de la tensión de aguante del aislamiento que cumplen el criterio de comportamiento, en los casos en que se les somete a las sobretensiones representativas, bajo las condiciones de servicio.

Las tensiones de aguante de coordinación del aislamiento tienen la forma de las sobretensiones representativas de cada clase, y sus valores se obtienen multiplicando las sobretensiones representativas por un factor de coordinación; este factor depende de la precisión en la evaluación de las sobretensiones representativas, de la estimación empírica o estadística de la distribución de las sobretensiones y las características del aislamiento.

Las tensiones de aguante de coordinación pueden determinarse, ya sea, con tensiones de aguante convencionalmente supuestas o con tensiones de aguante estadísticas. Esto afecta el procedimiento de determinación y el factor de coordinación.

La simulación de sobretensiones simultáneamente con la evaluación del riesgo de falla, con las características adecuadas de aislamiento, permite determinar directamente las tensiones de aguante de coordinación estadísticas sin tener que determinar las sobretensiones representativas.

### 2.6.3. NIVEL DE AISLAMIENTO

La selección del nivel de aislamiento nominal consiste en la selección del conjunto más eco-

<sup>5</sup> Fuente: NMX-J-150/1

nómico de tensiones de aguante normalizadas  $U_w$  del aislamiento, suficientes para demostrar que se cumple con todas las tensiones de aguante requeridas.

La tensión máxima del equipo es aquélla que se selecciona como el siguiente valor normalizado de  $U_m$  igual o mayor que la tensión máxima del sistema del lugar en el que el equipo se instala.

Para equipo que va a instalarse bajo condiciones ambientales normales respecto al aislamiento,  $U_m$  debe ser al menos igual a  $U_s$ .

Para equipo que va a instalarse fuera de las condiciones ambientales normales respecto al aislamiento,  $U_m$  puede seleccionarse mayor que el siguiente valor normalizado de  $U_m$  igual o mayor que  $U_s$  de acuerdo con las necesidades especiales que se involucran.

**Nota:** Como ejemplo, la selección de un valor  $U_m$  mayor que el siguiente valor normalizado de  $U_m$  igual o mayor que  $U_s$  puede elevarse cuando el equipo tiene que instalarse a una altitud mayor que 1 000 m para compensar la disminución de la tensión de aguante del aislamiento externo

La asociación de las tensiones de aguante normalizadas con la tensión máxima del equipo se realiza con base en el diseño de los sistemas de acuerdo con las normas y para fortalecer la normalización.

Las tensiones de aguante nominales normalizadas se asocian con la tensión máxima del equipo de acuerdo con la Tabla 2.57 para la categoría I y con la Tabla 2.58 para la categoría II. Estas ten-

siones de aguante nominales normalizadas son válidas para condiciones ambientales normales y tienen ajustes de acuerdo con las condiciones atmosféricas normalizadas de referencia.

Las asociaciones que se obtienen al vincular en línea horizontal las tensiones de aguante normalizadas de todas las columnas, sin cruzar las líneas horizontales marcadas, se definen como los niveles de aislamiento normalizados

#### 2.6.4. TENSIÓN MÁXIMA DE LOS EQUIPOS

Las tensiones máximas normalizadas para los equipos se dividen en dos categorías:

- a) Categoría I: mayor que 1 kV hasta e inclusive 245 kV (véase Tabla 2.57). Esta categoría cubre los sistemas de distribución y transmisión. Por lo tanto, los aspectos operacionales deben considerarse al seleccionar el nivel de aislamiento nominal del equipo.
- b) Categoría II: superior a 245 kV (véase la Tabla 2.58). Esta categoría cubre principalmente los sistemas de transmisión.

#### 2.6.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones atmosféricas normalizadas de referencia, las cuales aplican a las tensiones de aguante normalizadas, son:

- a) Temperatura:  $t_0=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- b) Presión:  $b_0=101.3\text{ kPa}$  (1 013 mbar)
- c) Humedad absoluta:  $h_0=11\text{ g/m}^3$

Tabla 2.56 Clase y forma de onda de sobretensión, formas de tensiones normalizadas y pruebas de tensión de aguante normalizada

| Clase                                                                     | Baja frecuencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                              | Transitoria                                                             |                                                                |                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                           | Permanente                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Temporal                                                                     | Frente lento                                                            | Frente rápido                                                  | Frente muy rápido                                                                              |
| Formas de ondas de tensiones y sobretensiones                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                              |                                                                         |                                                                |                                                                                                |
| Intervalos de frecuencia de formas de ondas de tensiones y sobretensiones | $f=60 \text{ Hz}$<br>$T_t \geq 3 \text{ 600s}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $(10 < f < 50) \text{ Hz}$<br>$(0.02 \leq T_t \leq 3 \text{ 600}) \text{ s}$ | $(20 < T_p \leq 5 \text{ 000}) \mu\text{s}$<br>$T_2 \leq 20 \text{ ms}$ | $(0.1 < T_1 \leq 20) \mu\text{s}$<br>$T_2 \leq 300 \text{ ms}$ | $T_f \leq 100 \text{ ns}$<br>$(0.3 < f_1 < 100) \text{ MHz}$<br>$(30 < f_2 < 300) \text{ MHz}$ |
| Formas de ondas de tensiones normalizadas                                 | <p> <math>f=60 \text{ Hz}</math><br/> <math>T_t^a</math> </p> <p> <math>58 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}</math><br/> <math>T_t = 60 \text{ s}</math> </p> <p> <math>T_p = 250 \mu\text{s}</math><br/> <math>T_2 = 2 \text{ 500 } \mu\text{s}</math> </p> <p> <math>T_1 = 1,2 \mu\text{s}</math><br/> <math>T_2 = 50 \mu\text{s}</math> </p> |                                                                              |                                                                         |                                                                |                                                                                                |
| Pruebas de tensiones normalizadas                                         | a                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Prueba corta duración de la frecuencia del sistema (60 Hz)                   | Prueba de impulso por maniobra                                          | Prueba de impulso por rayo                                     | a                                                                                              |

<sup>a</sup> Se especifica en la norma del producto correspondiente

Fuente: NMX-J-150/1

Tabla 2.57 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría I ( $1 \text{ kV} < U_m \leq 254 \text{ kV}$ )

| Tensión máxima del equipo $U_m$<br>kV<br>(valor eficaz) | Tensión de aguante normalizada de<br>corta<br>duración a 60 Hz<br>kV<br>(valor eficaz) | Tensión de aguante normalizada de<br>impulso por rayo<br>kV<br>(valor cresta) |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 3.6                                                     | 10                                                                                     | 20<br>40                                                                      |
| 15.5**                                                  | 19                                                                                     | 45<br>60<br>75                                                                |
| 7.2                                                     | 20                                                                                     | 40<br>60                                                                      |
| 112**                                                   | 28                                                                                     | 60<br>75<br>95                                                                |
| 15.5                                                    | 35                                                                                     | 75<br>95<br>110                                                               |
| 117.5 **                                                | 38                                                                                     | 75<br>95                                                                      |
| 124 **                                                  | 50                                                                                     | 95<br>125<br>145                                                              |
| 25.8                                                    | 50                                                                                     | 95<br>125<br>150                                                              |
| 136**                                                   | 70                                                                                     | 145<br>170<br>125                                                             |
| 38                                                      | 70                                                                                     | 150<br>200                                                                    |
| 152**                                                   | 95                                                                                     | 250                                                                           |
| 72.5                                                    | 140                                                                                    | 325                                                                           |
| 1100 **                                                 | 1 150*                                                                                 | 1 380*                                                                        |
|                                                         | 185                                                                                    | 450                                                                           |
| 123                                                     | 1 185*                                                                                 | 1 450*                                                                        |
|                                                         | 230                                                                                    | 550                                                                           |
| 145                                                     | 1 185 *                                                                                | 1 450*                                                                        |
|                                                         | 230                                                                                    | 550                                                                           |
|                                                         | 275                                                                                    | 650                                                                           |
| 170                                                     | 1 230*                                                                                 | 1 550*                                                                        |
|                                                         | 275                                                                                    | 650                                                                           |
|                                                         | 325                                                                                    | 750                                                                           |
| 245                                                     | 1 275*                                                                                 | 1 650*                                                                        |
|                                                         | 1 325*                                                                                 | 1 750*                                                                        |
|                                                         | 360                                                                                    | 850                                                                           |
|                                                         | 395                                                                                    | 950                                                                           |
|                                                         | 460                                                                                    | 1 050                                                                         |

Si estos valores son insuficientes para satisfacer las tensiones de aguante requeridas de fase a fase, es necesario realizar pruebas de aguante adicionales de fase a fase

\*\* Estos valores no son de uso común, sin embargo, pueden utilizarse en las normas de productos

NOTAS:

1 Los valores de esta tabla están referidos a condiciones atmosféricas normalizadas

2 La tensión de aguante normalizada de impulso por rayo de fase a fase es la misma que la de fase a tierra

Fuente : NMX- J- 150/1

Tabla 2.58 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría II ( $U_m > 254$  kV)

| Tensión máxima del equipo $U_m$<br>kV<br>(valor eficaz) | Tensión de aguante normalizada de impulso por maniobra         |                                       |                                                                                   | Tensión de aguante normalizada de impulso por rayo <sup>b), e), f)</sup> |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                                                         | Aislamiento longitudinal <sup>a)</sup><br>kV<br>(valor cresta) | Fase a tierra<br>kV<br>(valor cresta) | Fase a fase<br>(relación entre el valor de cresta de fase a tierra) <sup>g)</sup> | kV<br>(valor cresta)                                                     |
| 300 <sup>c)</sup>                                       | 750                                                            | 750                                   | 1.5                                                                               | 850<br>950                                                               |
|                                                         | 750                                                            | 850                                   | 1.5                                                                               | 950<br>1 050                                                             |
| 362 <sup>c)</sup>                                       | 850                                                            | 850                                   | 1.5                                                                               | 950<br>1 050                                                             |
|                                                         | 850                                                            | 950                                   | 1.5                                                                               | 1 050<br>1 175                                                           |
| 420                                                     | 850                                                            | 850                                   | 1.6                                                                               | 1 050<br>1 175                                                           |
|                                                         | 950                                                            | 950                                   | 1.5                                                                               | 1 175<br>1 300                                                           |
|                                                         | 950                                                            | 1 050                                 | 1.5                                                                               | 1 300<br>1 425                                                           |
| 550 <sup>c)</sup>                                       | 950                                                            | 950                                   | 1.7                                                                               | 1 175<br>1 300                                                           |
|                                                         | 950                                                            | 1 050                                 | 1.6                                                                               | 1 300<br>1 425                                                           |
|                                                         | 950<br>1 050                                                   | 1 175                                 | 1.5                                                                               | 1 425<br>1 550                                                           |
|                                                         | 1 175                                                          | 1 300                                 | 1.7                                                                               | 1 675<br>1 800                                                           |
| 800 <sup>c)</sup>                                       | 1 175                                                          | 1 425                                 | 1.7                                                                               | 1 800<br>1 950                                                           |
|                                                         | 1 175<br>1 300                                                 | 1 550                                 | 1.6                                                                               | 1 950<br>2 100                                                           |

\* NOTA – La presencia de  $U_m$  por encima de 800 kV aún no se definen

- a) Valor de la componente de impulso de la prueba combinada con el valor cresta de fase a tierra de polaridad opuesta a 60 Hz igual a  $U_m \cdot 2 / 3$ .
- b) Estos valores aplican tanto para aislamiento fase a tierra y como para fase a fase; para el aislamiento longitudinal estos valores se aplican como componente del impulso por rayo nominal normalizado con el valor cresta de la componente de 60 Hz de polaridad opuesta de magnitud igual a  $0.7U_m \cdot 2 / 3$ , en la tensión de aguante nominal normalizada combinada.
- c) Estos valores no son de uso común, sin embargo, pueden utilizarse en las normas de productos
- d) Los valores de esta tabla están referidos a condiciones atmosféricas normalizadas
- e) La tensión de aguante normalizada de impulso por rayo de fase a fase es el mismo valor que la de fase a tierra.
- f) Valor de la componente de impulso en la prueba combinada correspondiente.
- g) El valor de la tensión aguante de impulso por maniobra de fase a fase en kV se obtiene mediante el producto de la tensión de aguante de impulso por maniobra de fase a tierra y el valor de esta columna

Fuente: NMX-J-150/1



## 2.7. AISLADORES TIPO SUSPENSIÓN DE PORCELANA O DE VIDRIO TEMPLADO<sup>6</sup>

### 2.7.1. CLASIFICACIÓN

Los aisladores tipo suspensión se clasifican por su acoplamiento y aplicación de acuerdo con lo siguiente:

1. Por su acoplamiento
  - a) Horquilla y ojo anular
  - b) Calavera y bola
2. Por su aplicación
  - a) Normal
  - b) Corrosión
  - c) Contaminación
3. Por su resistencia mecánica
  - a) 44 kN
  - b) 111 kN
  - c) 160 kN

### 2.7.2. DESIGNACIÓN

La designación consta de 10 caracteres alfanuméricos como máximo, según se muestra a continuación:

DDSMARRRXY

En donde:

- DD es el diámetro aproximado del esbozo en (cm)
- S es el tipo suspensión
- M es el material (V= vidrio o = porcelana)

- A es el tipo de acoplamiento (H= horquilla y ojo anular o C = calavera y bola)
- RRR es la resistencia mecánica o electromecánica en (kN)
- X es la corrosión (manguito de cinc)= (C)
- Y es la contaminación (C=contaminación o M= muy contaminada).

### 2.7.3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS, MECÁNICAS Y DIMENSIONALES

Los aisladores tipo suspensión de porcelana o de vidrio templado y sus herrajes deben satisfacer las características electromecánicas y dimensiones indicadas por la NMX- J- 245

#### 2.7.3.1.Acabado

##### ***Aislamiento***

El esbozo del aislador debe tener un acabado vidriado y liso; de constitución homogénea, compacta y libre de porosidades. Los aisladores de porcelana deben ser de color gris o café oscuro y los de vidrio templado verde o claro translucido.

##### ***Herrajes o partes metálicas***

Todas las partes metálicas deben ser de acero o hierro esferoidal y deben estar galvanizadas.

##### ***Vástago***

Debe ser de acero o hierro nodular o maleable, que cumpla con el valor de resistencia mecánica. La posición del vástago (ojo anular o bola)

<sup>6</sup> Fuente: NMX-J-245

debe ser perpendicular al plano del esbozo del aislador, y estar alineado con respecto al eje central del esbozo y horquilla o calavera.

### ***Chavetas***

Deben ser de acero inoxidable grado A2 o A4. La chaveta utilizada en la calavera del aislador debe ser del tipo R y tener ambos extremos alabeados, de tal forma que impidan su extracción completa. La chaveta utilizada en el perno de acoplamiento tipo horquilla debe ser del tipo R (Joroba).

### ***Perno y calavera***

El perno debe ser de acero. La calavera y la horquilla pueden ser de acero, hierro nodular o hierro maleable.

### ***Cemento***

No debe presentar aflojamiento en el acoplamiento de los herrajes, calavera y bola u horquilla y ojo anular.

### **2.7.3.2. Empaque, embalaje**

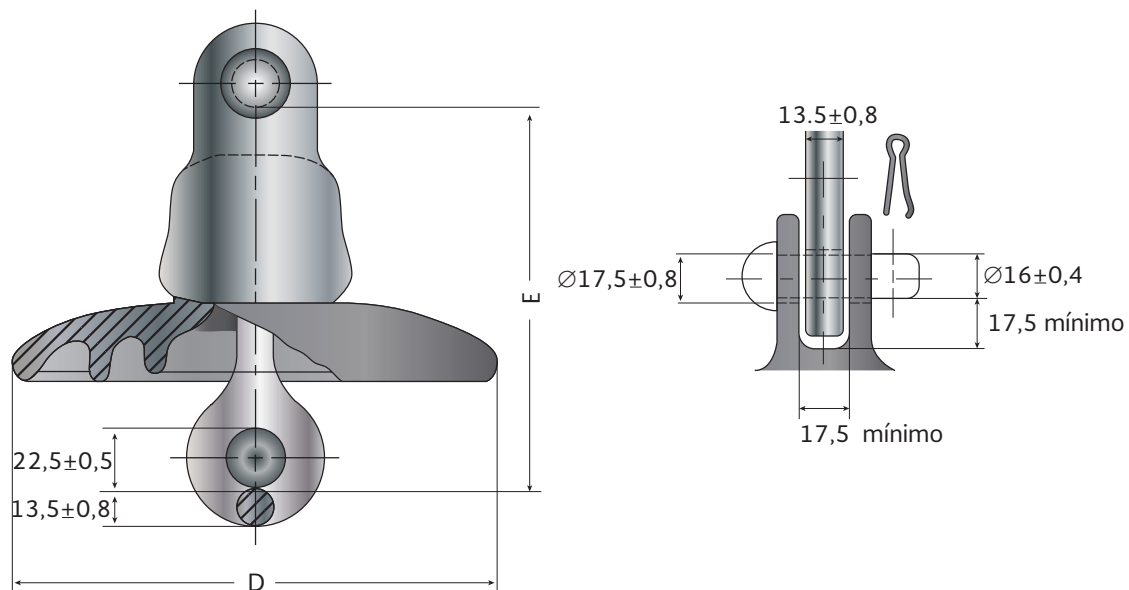
Los aisladores deben empacarse en cajas o rejas de madera o de plástico, que resistan el manejo rudo sin dañar el contenido y que puedan almacenarse a la intemperie, con una cantidad máxima de 6 piezas.

Los aisladores empacados deben entregarse en tarimas, flejados y debidamente ordenados para efectuar un conteo rápido. La masa total del embalaje no debe ser mayor a 1 500 kg para poder mover cada tarima con un cargador frontal (montacargas).

Se permite además, que en una tarima se acomoden debidamente ordenados y flejados dos o más tipos de aisladores, cuando las cantidades de cada uno de ellos no sea suficiente para completar la carga de una tarima.

En la, Ilustración 2.21 y Ilustración 2.22 y Tabla 2.59 se muestra las características según la NMX-J-245.

Ilustración 2.21 Aislador tipo suspensión con acoplamiento de horquilla - ojo

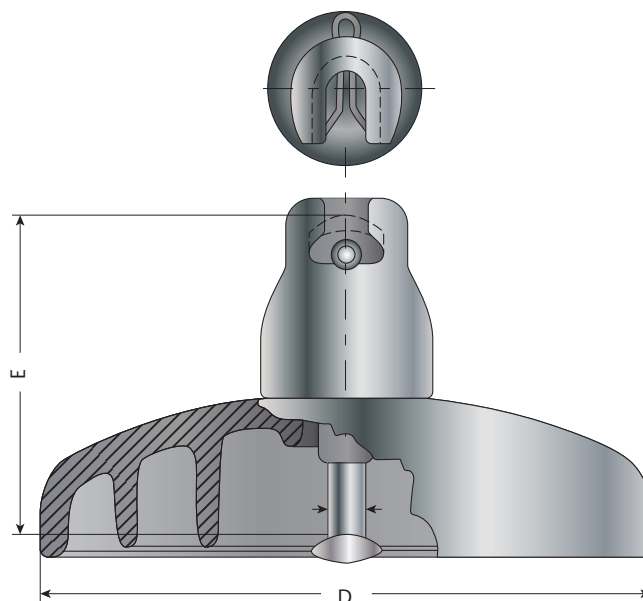


NOTAS

- 1 La geometría de los aisladores es orientativa, no limitativa.
- 2 Dimensiones en mm.

Fuente: NMX- J- 245

Ilustración 2.22 Aislador con acoplamiento calavera y bola (perfil normal y anticontaminación)



NOTAS

- 1 La geometría de los aisladores es orientativa, no limitativa.
- 2 Dimensiones en mm.
- 3 El diámetro del vástago es de 18 mm para aisladores de 111 kN y de 22 mm para aisladores de 160 kN.

Fuente: NMX- J- 245

Tabla 2.59 Características eléctricas, mecánicas y dimensionales

| Características |                                          | Designación | 16SVH044<br>16SPH044 <sup>2)</sup> | 25SVC111<br>25SPC111<br>25SVC111C<br>25SPC111C | 33SVC160C<br>33SPC160C | 25SVC111CC<br>25SPC111CC | 28SVC111CC<br>28SPC111CC | 28SVC160<br>28SPC160C<br>28SVC160C<br>28SPC160C | 29SVC160<br>29SPC160<br>29SVC160C<br>29SPC160C | 32SVC160CC<br>32SPC160CC | 32SVC111CM<br>32SPC111CM | 32SVC160CM<br>32SPC160CM | 33SVC111<br>33SPC111<br>33SVC111C<br>33SPC111C |                         |
|-----------------|------------------------------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|-------------------------|
|                 |                                          |             |                                    |                                                |                        |                          |                          |                                                 |                                                |                          |                          |                          |                                                | Figuras representativas |
| Dimensiones     | Diámetro nominal (D)                     | mm          | 175                                | 254                                            | 330                    | 254                      | 280                      | 280                                             | 298                                            | 321                      | 321                      | 321                      | 321                                            | 330                     |
|                 | Espaciamiento (E)                        | mm          | 140                                | 146                                            | 146                    | 146                      | 146                      | 146                                             | 146                                            | 171                      | 146                      | 146                      | 146                                            | 146                     |
|                 | Distancia mínima de fuga                 | mm          | 178                                | 292                                            | 295                    | 432                      | 445                      | 370                                             | 279                                            | 540                      | 612                      | 612                      | 612                                            | 295                     |
|                 | Tensión de flameo a 60 Hz                | kV          | 60                                 | 80                                             | 60                     | 80                       | 100                      | 80                                              | 80                                             | 100                      | 110                      | 110                      | 110                                            | 75                      |
| Eléctricas      | En flameo                                | kV          | 30                                 | 50                                             | 55                     | 50                       | 60                       | 50                                              | 50                                             | 65                       | 60                       | 60                       | 60                                             | 55                      |
|                 | Tensión crítica de Al impulso positivo   | kV          | 100                                | 125                                            | 100                    | 125                      | 140                      | 125                                             | 125                                            | 170                      | 160                      | 160                      | 160                                            | 100                     |
|                 | En flameo Al impulso negativo            | kV          | 100                                | 130                                            | 100                    | 130                      | 140                      | 130                                             | 130                                            | 160                      | 170                      | 170                      | 170                                            | 100                     |
|                 | Tensión de perforación a baja frecuencia | kV          | 80                                 | 110                                            | 110                    | 110                      | 130                      | 130                                             | 110                                            | 130                      | 130                      | 130                      | 130                                            | 110                     |
| Mecánicas       | Resistencia mecánica <sup>3)</sup>       | kV          | 44                                 | 111                                            | 160                    | 111                      | 111                      | 160                                             | 160                                            | 160                      | 111                      | 160                      | 160                                            | 111                     |
|                 | Resistencia al impacto                   | N.m         | 5                                  | 7                                              | 10                     | 10                       | 10                       | 10                                              | 10                                             | 10                       | 10                       | 10                       | 10                                             | 10                      |

1) La designación se describe en NMX - J-245.

2) Para este aislador no aplican las pruebas de resistencia al arco de potencia y de perforación al impulso de frente escarpado.

3) Resistencia electromecánica combinada para porcelana y mecánica para vidrio

4) La verificación dimensional se realiza con los calibradores mostrados en figuras 4 y 5 para 111 kN y figuras 6 y 7 para 160 kN de la NMX - J-245

5) La verificación dimensional de los herrajes es de acuerdo con las dimensiones indicadas en la figura 1 de la NMX - J-245

Fuente: NMX - J-245

## 2.8. CUCHILLAS SECCIONADORAS EN AIRE<sup>7</sup>

### 2.8.1. CARACTERÍSTICAS

Las cuchillas de operación en grupo se deben instalar en líneas troncales, en puntos de enlace entre dos circuitos, donde exista equipo de protección o seccionamiento de restauradores, transiciones de circuito aéreas a subterráneas, etcétera.

El mecanismo de operación de las cuchillas de operación en grupo debe estar conectado a tierra. El valor de resistencia de tierra debe ser de 10 ohms como máximo en tiempo de secas.

Se deben de comprobar los ajustes de las cuchillas antes de que se pongan en operación. Vea las recomendaciones del fabricante. Los cortacircuitos que se operen con pértiga no necesitan estar conectados a tierra; las cuchillas de operación en grupo preferentemente se deben instalar en lugares de fácil acceso; todas las cuchillas de operación en grupo deben ser del tipo para abrir con carga; las cuchillas se deben instalar con el contacto fijo en el lado fuente. El mecanismo de mando de las cuchillas de operación en grupo debe estar asegurado con un candado con llave predeterminado por el responsable del área.

Para operar cuchillas de operación en grupo, utilice guantes dieléctricos de la clase adecuada a la tensión de operación. Para abrir el ramal de un restaurador fusible, primero abra los cortacircuitos con la pértiga universal de derecha a izquierda de cada uno de los conjuntos que no estén conduciendo corriente. Finalmente utilice rompe cargas para abrir el último cortacircuito que conduzca corriente.

<sup>7</sup> Fuente: NMX-J-323, CFE 08-00-01, IEEE STD C37, CFE V4200-25, CFE V4200-12, NRF-006-CFE

Para restablecer el servicio de un restaurador fusible una vez corregida la anomalía que provocó la falla permanente, primero abra el mecanismo de conexión (by pass) y reponga los eslabones fusibles de cada grupo de izquierda a derecha. En la Tabla 2.60 e Ilustración 2.23 se muestra un arreglo de cuchillas de CFE. La codificación de cuchillas para seccionar líneas de media tensión consta de cinco campos:

- El primer campo indica el número de unidades
- En el segundo y tercer campo se indica el tipo de cuchillas: Cuchillas de operación en Grupo (CG) y Restaurador Fusible (RF)
- En el cuarto campo se indica el número de fases conectadas
- En el quinto campo se indica el tipo de sistema: 3F-4H (A)

#### 2.8.1.1.Ejemplo:

Cuchillas de operación en grupo para tres fases sistema 3F-4H.

1      C      G      3      A

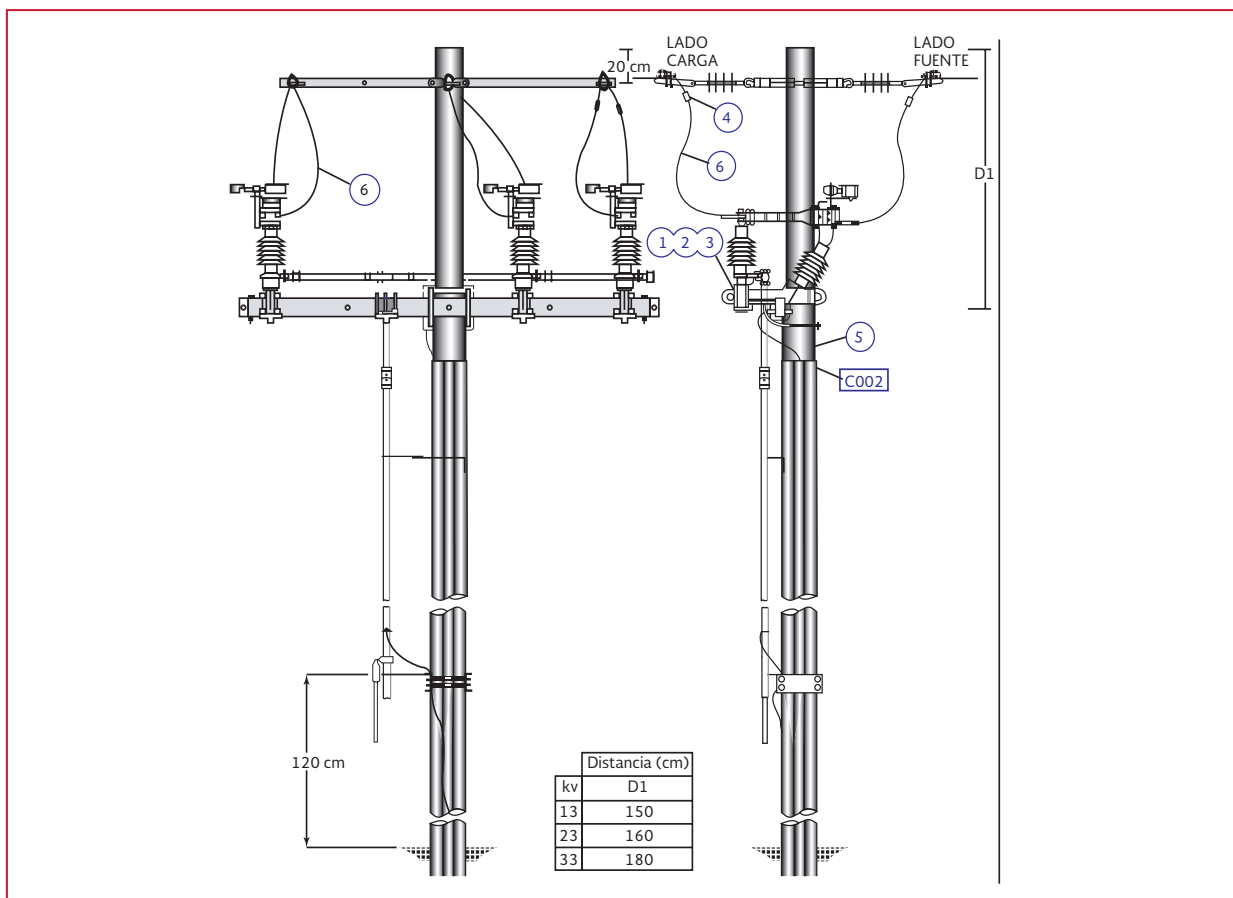
La clave indica una (1) cuchilla de operación en grupo (CG) conectada a tres fases (3) en un sistema tres fases, cuatro hilos (A). Fuente: CFE 08-00-01.

### 2.8.2. TENSIÓN

#### 2.8.2.1.Tensiones y corrientes nominales normalizadas

Los valores normalizados para servicio interior o exterior se indican en la Tabla 2.61 y Tabla 2.63. La corriente momentánea nominal de cresta, se obtiene multiplicando la corriente de corta dura-

Ilustración 2.23 Cuchillas de CFE



ción de 1 segundo por 2.5. La variabilidad reportada de los valores de corriente de corta duración de 1 segundo en kA es dependiente de la tensión del sistema y de los valores de cortocircuito del mismo. Si un valor de más de 1 segundo es necesario, el valor de 3 segundos es el recomendado.

### 2.8.3. CORRIENTE

#### 2.8.3.1. Capacidad interruptiva

Es el valor de la corriente de cortocircuito máxima que debe de interrumpir el elemento fusible a una tensión nominal determinado bajo condiciones de prueba. Esta capacidad está en función de la contribución de corriente de cortocircuito por parte de la compañía suministradora y las cargas conectadas en la instalación del usuario.

#### 2.8.3.2. Corriente aplicada de corta duración

La corriente nominal es la corriente que deben soportar las cuchillas en forma permanente, sin sufrir ningún daño a frecuencia y tensión nominal. La corriente está dada en amperes por el valor eficaz (rmc). Los valores están indicados en la Tabla 2.61 y Tabla 2.62.

#### 2.8.4. NIVEL BÁSICO AL IMPULSO

Las cuchillas seccionadoras deberán ser capaces de soportar sobretensiones transitorias, originadas principalmente por descargas atmosféricas en las líneas de alimentación; el nivel básico al impulso de acuerdo a las normas está dado a una altitud de 1 000 m.s.n.m. Los valores se muestran en la Tabla 2.61, Tabla 2.63 y Tabla 2.64.

#### 2.8.4.1.Potencial aplicado

Las cuchillas deberán soportar los valores de potencial aplicado mostrados en la Tabla 2.61.

### 2.8.5. CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS

#### 2.8.5.1. Número de polos

Las cuchillas seccionadoras podrán ser de: 1, 2 y 3 polos según el caso. Ver Ilustración 2.24, Ilustración 2.25, Ilustración 2.26, Ilustración 2.27, Ilustración 2.28, Ilustración 2.29.

#### 2.8.5.2.Tipo de operación

Las cuchillas seccionadoras podrán requerirse de operación unipolar o en grupo según sea el caso.

#### 2.8.5.3. Tipo de montaje

Por su tipo de montaje las cuchillas seccionadoras podrán ser:

- a) Cuchillas seccionadoras verticales
- b) Cuchillas seccionadoras horizontales

#### 2.8.5.4.Conexión

En las cuchillas seccionadoras verticales y horizontales, el contacto fijo debe conectarse en el lado de la acometida, las de accionamiento al centro y doble interrupción, la conexión de la fuente de energía no requiere ninguna recomendación.

#### 2.8.5.5.Tipo de servicio

Las cuchillas seccionadoras podrán ser para servicio interior o exterior.

#### 2.8.5.6.Aisladores

La distancia de fuga de los aisladores será:

- a) 3.5 cm/kV en atmósfera de contaminación media
- b) 4.5 cm/kV en atmósfera de contaminación alta

### 2.8.6. RECOMENDACIONES

#### 2.8.6.1.Montaje

El montaje está dado básicamente por el arreglo de equipo de la subestación, por lo que debe revisarse el diseño y en él se observará el tipo de montaje.

#### 2.8.6.2.Tipo de operación

El tipo de operación de las cuchillas está dado por la facilidad o dificultad para abrir o cerrarlas.

#### ***Cuchilla montaje vertical***

Para seleccionar la operación mediante el empleo de una pértiga se requiere que al frente de la cuchilla exista el área libre, que no debe tener una distancia menos de 2 m para que una persona pueda operar las cuchillas con la pértiga en forma segura; de no existir esta condición la cuchilla debe operarse mediante mecanismos para operarlas con una manivela y en grupo; para este caso no se requiere de un gran espacio, ya que lo único que se tiene que tomar en cuenta son las distancias de seguridad del operador a las fases eléctricas de la subestación las cuales dependen de la tensión de la subestación.

Ilustración 2.24 Cuchilla tripolar

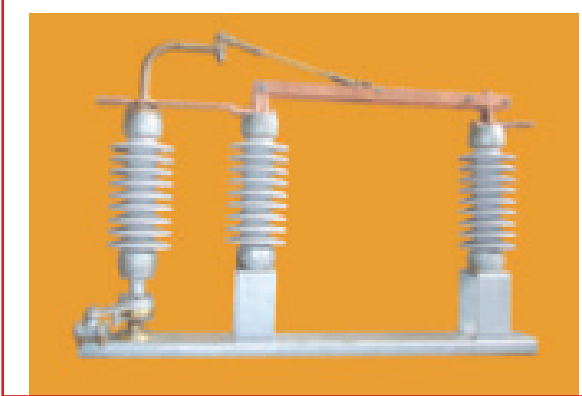


Ilustración 2.25 Cuchilla unipolar o monopolar

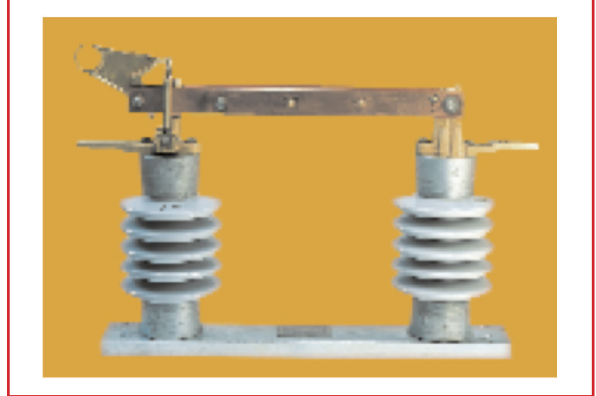


Ilustración 2.26 Cuchilla de apertura vertical (TTR6) para distribución y transmisión

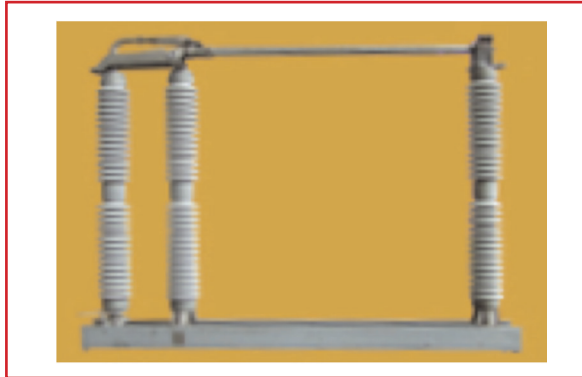


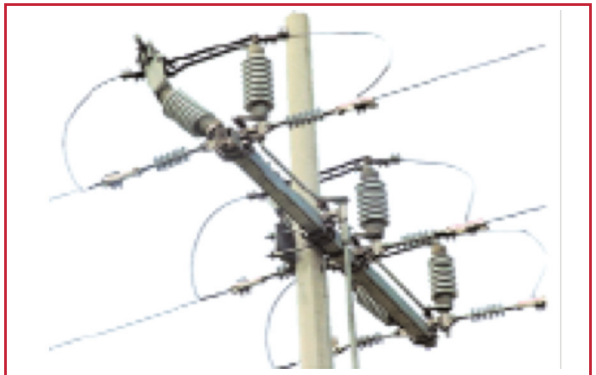
Ilustración 2.27 Cuchilla de apertura lateral central (DRV) para distribución y transmisión



Ilustración 2.28 Cuchilla de doble apertura lateral central



Ilustración 2.29 Cuchilla COGC





### ***Cuchillas de montaje horizontal***

La operación de este tipo de cuchillas siempre debe ser en grupo; las cuchillas desconectadoras montadas horizontalmente no permiten su operación mediante pértiga.

#### **2.8.6.3. Longitud de la varilla de mando**

Al especificar cuchillas de operación en grupo, se deberá de indicar la longitud de la varilla de mando de acuerdo a la posición de las cuchillas, de acuerdo al arreglo de la subestación.

### **2.8.7. TIPOS DE CUCHILLAS**

#### **2.8.7.1. Cuchilla unipolar o monopolar (p)**

- a) Las cuchillas unipolares o monopolares son del tipo de operación con pértiga sin carga, ver Tabla 2.65
- b) Servicio intemperie para subestaciones de distribución
- c) Tensión nominal de diseño desde 15 hasta 38 kV
- d) Corriente nominal desde 630 hasta 2 000 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 125 hasta 200 kV
- f) Aplicable para el sistema de distribución

#### **2.8.7.2. Cuchilla tripolar (TP-II)**

- a) Las cuchillas Tripolares son del tipo de operación del grupo sin carga
- b) Servicio intemperie para subestaciones de distribución, ver Tabla 2.66

- c) Tipo de montaje vertical, horizontal
- d) Tensión nominal de diseño desde 15.5 hasta 38 kV
- e) Corriente nominal desde 630 hasta 2 000 A
- f) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 125 hasta 200 kV
- g) Aplicable para el sistema de distribución

#### **2.8.7.3. Cuchilla de apertura**

vertical ( $TTR_v$ ) para distribución y transmisión

- a) Servicio intemperie para subestaciones de distribución y transmisión
- b) Tipos de montaje vertical, horizontal
- c) Tensión nominal de diseño desde 15 hasta 170 kV
- d) Corriente nominal de diseño desde 630 hasta 2 000 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 125 hasta 750 kV
- f) Para tensiones de diseño arriba de 123 kV puede suministrarse con cuchilla de puesta a tierra según se requiera

Ver Tabla 2.67 y Tabla 2.68.

#### **2.8.7.4. Cuchilla de apertura**

lateral central (DRV) para distribución y transmisión

Las cuchillas DRV son del tipo de apertura lateral central, posición de aisladores en “V” de operación en grupo sin carga, con o sin puesta a tierra, mecanismos de accionamiento manual o motorizado, ver Tabla 2.69.

- a) Servicio intemperie para subestaciones de distribución y transmisión
- b) Tipo de montaje vertical, horizontal
- c) Tensión nominal de diseño desde 72.5 hasta 170 kV
- d) Corriente nominal de 800 hasta 2 000 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 450 hasta 750 kV
- f) Para tensiones de diseño arriba de 123 kV puede suministrarse con cuchilla de puesta a tierra según se requiera

#### 2.8.8. CUCHILLA DE DOBLE APERTURA LATERAL CENTRAL (TTT-7)

- a) Las cuchillas TTT-7 son del tipo de doble apertura lateral central, tres columnas de aisladores. Con aislador giratorio al centro de cada polo, de operación en grupo sin carga, con o sin puesta a tierra, mecanismos de accionamiento de la cuchilla principal motorizado, ver Tabla 2.70
- b) Tipo de montaje horizontal
- c) Tensión nominal de diseño desde 245 hasta 420 kV
- d) Corriente nominal desde 1 250 hasta 3 150 A
- e) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) desde 1 050 hasta 1 550kV

##### 2.8.8.1.Cuchilla COGC

- a) Los equipos COGC son cuchillas de operación en grupo con carga, apertura lateral y posición de aisladores en “V”

- b) Montaje horizontal y vertical en poste sin cuchilla de puesta a tierra, mecanismo de accionamiento manual
- c) Servicio intemperie para el sistema de distribución
- d) Tensión nominal de diseño desde 15.5 hasta 25.8 kV
- e) Corriente nominal de 630 A
- f) Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo (NBAI) de 125 hasta 170 kV

#### 2.8.9. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

##### 2.8.9.1. Temperaturas

Tener conocimiento de la temperatura: mínima, máxima y promedio del sitio.

##### 2.8.9.2. Altitud de operación

Las cuchillas desconectadoras deberán estar diseñadas para operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m., para la selección de cuchillas que operen a altitudes mayores y cuyas partes aislantes se encuentren en el aire expuestas a la presión atmosférica, deberán aplicarse los factores de corrección indicados en Tabla 2.64.

##### 2.8.9.3. Tipo de atmósfera

Básicamente se consideran dos tipos de atmósferas:

- a) Contaminación media. Sitios con lluvias intensas, lluvia marina ligera, fertilizantes e irrigación de plaguicidas. Los lugares que tienen este tipo de contaminación son:
  - Sitios a más de 50 km de la costa
  - Campos agrícolas

- Ciudades sin industria contaminantes
- Lugares a más de 30 km de industrias contaminantes

b) Contaminación alta:

- Son los sitios a menos de 50 km de la costa
- Sitios cercanos a plantas que producen o consumen carbón plantas petroquímicas, cementeras y acereras

## 2.9. SELECCIÓN DE TABLEROS<sup>8</sup>

### 2.9.1. CARACTERÍSTICAS

Las características particulares de los componentes contenidos en los tableros para sistemas trifásicos, estarán sujetas a sus especificaciones correspondientes, ver Ilustración

<sup>8</sup> Fuente: NMX-J-068, NOM-16-ENER, NFR-030-CFE, CFE V6700-62,

Tabla 2.60 Componentes de Ilustración 2.20

| Ref. No. | Especificación o NRF CFE | U    | Descripción corta        | Cantidad |       |       |
|----------|--------------------------|------|--------------------------|----------|-------|-------|
|          |                          |      |                          | 13 kV    | 23 kV | 33 kV |
| 1        | NRF-006                  | Pz   | Cuchilla COGC-15-* (1)   | 1        | -     | -     |
| 2        | NRF-006                  | Pz   | Cuchilla COGC-25,8-* (1) | -        | 1     | -     |
| 3        | NRF-006                  | Pz   | Cuchilla COGC-38-* (1)   | -        | -     | 1     |
| 4        |                          | Pz   | Conector                 | 6        | 6     | 6     |
| 5        |                          | Lote | Bajante de tierra        | 1        | 1     | 1     |
| 6        | E0000-32                 | m    | Cable Cu 3/0             | 9        | 9     | 9     |

Fuente: CFE 08-00-01

Tabla 2.61 Capacidades eléctricas (corrientes nominales y momentáneas)

| Tensiones máxima | Corriente nominal | Corriente pico | Corriente de corta duración | Tensión de impulso (BIL) 1.2 x 50 µs | Tensión aplicada 60 Hz 1 min en seco |
|------------------|-------------------|----------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 7.2              | 400               | 65             | 25                          | 60                                   | 20                                   |
|                  | 630               | 65             | 25                          | 60                                   | 20                                   |
|                  | 1250              | 99             | 38.1                        | 60                                   | 20                                   |
| 17.5             | 400               | 65             | 25                          | 95                                   | 38                                   |
|                  | 630               | 65             | 25                          | 95                                   | 38                                   |
|                  | 1250              | 99             | 38.1                        | 95                                   | 38                                   |
| 28.8             | 400               | 65             | 25                          | 125                                  | 60                                   |
|                  | 630               | 65             | 25                          | 125                                  | 60                                   |
|                  | 1 250             | 99             | 38.1                        | 125                                  | 60                                   |
| 38               | 400               | 65             | 25                          | 150                                  | 80                                   |
|                  | 630               | 65             | 25                          | 150                                  | 80                                   |
|                  | 1 250             | 99             | 38.1                        | 150                                  | 80                                   |

Tabla 2.62 Corrientes nominales y momentáneas

| Corriente nominal en amperes | Corriente momentánea nominal en kA eficaces para servicio interior y exterior |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 200                          | 20                                                                            |
| 400                          | 20                                                                            |
| 600- 630                     | 40                                                                            |
| 1 200- 1 250                 | 60                                                                            |
| 1600                         | 70                                                                            |
| 2000                         | 80                                                                            |

Notas: La corriente nominal de 3 segundos, se obtiene dividiendo la corriente momentánea nominal entre 1.6.  
Desconectadores de 200 A, solamente para servicio interior

Fuente: NMX-J-323

Tabla 2.63 Corrientes nominales y de corta duración de 1 segundo, para servicio interior y exterior

| Corriente nominal en amperes | Corriente momentánea nominal en kA eficaces para servicio interior y exterior |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 200                          | 12.5                                                                          |
| 400                          | 10 y 12.5                                                                     |
| 600 - 630                    | 12.5, 16 y 25                                                                 |
| 1 200 - 1 250                | 12.5, 16, 20, 25, 31, 35, 40 y 50                                             |
| 1 600                        | 16, 20, 25, 31.5, 40, y 50                                                    |
| 2 000                        | 20, 25, 31.5, 40 y 50                                                         |

NOTAS: Desconectadores de 200 A, solamente para servicio interior

La corriente momentánea nominal de cresta se obtiene multiplicando la corriente de corta duración de 1 segundo por 2.5

La variabilidad reportada de los valores de corriente de corta duración de 1 segundo en kA es dependiente de la tensión del sistema y de los valores de corto circuito del mismo

Si un valor de más de 1 segundo es necesario, el valor de 3 segundos es el recomendado

Fuente: NMX-J-323

Tabla 2.64 Factor de corrección por altitud

| Altitud (m) | Tensión nominal no disruptiva | Corriente nominal |
|-------------|-------------------------------|-------------------|
| 1 000       | 1.00                          | 1.00              |
| 1 200       | 0.98                          | 0.995             |
| 15 500      | 0.95                          | 0.99              |
| 1 800       | 0.92                          | 0.985             |
| 2 100       | 0.89                          | 0.98              |
| 2 400       | 0.86                          | 0.97              |
| 2 700       | 0.83                          | 0.965             |
| 3 000       | 0.80                          | 0.96              |
| 3 600       | 0.75                          | 0.95              |
| 4 200       | 0.70                          | 0.935             |
| 4 800       | 0.65                          | 0.925             |
| 5 400       | 0.61                          | 0.91              |
| 6 000       | 0.56                          | 0.90              |

Fuente: IEEE STD C37

Tabla 2.65 Especificación de cuchillas unipolar y monopolar CFE

| Descripción<br>corta CFE | Tensión<br>nominal de<br>diseño del<br>equipo Vn kV<br>eficaz | Nivel básico de aislamiento al<br>impulso por rayo NBAI kV(-<br>cresta) |                                                           | Tensión de aguantante a la frecuencia de sistema<br>kV (eficaz) |                                                     |               |             | Corriente<br>Nominal |                | Valor de prueba de la corriente<br>de aguantante |              |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------|-------------|----------------------|----------------|--------------------------------------------------|--------------|
|                          |                                                               | Cerrada a<br>tierra<br>Abierta<br>a través y<br>entre polos             | Abierta a<br>traves de la<br>distancia del<br>aislamiento | Cerrada a tierra y entre polos                                  | Abierta a través de la distancia<br>del aislamiento | Seco<br>1 min | Húmedo 10 s | Seco<br>1 min        | Húmedo<br>10 s | De corta<br>duración                             | Valor cresta |
| CSP-125-1-<br>15.5-630   | 15                                                            | 125                                                                     | 145                                                       | 70                                                              | 60                                                  | 77            | 66          | 630                  | 25.00          | kA                                               | 65.00        |
| CSP-150-1-<br>25.8-630   | 25.8                                                          | 150                                                                     | 165                                                       | 70                                                              | 60                                                  | 77            | 66          | 630                  | 25.00          |                                                  | 65.00        |
| CSP-200-1-<br>38-630     | 38                                                            | 200                                                                     | 220                                                       | 95                                                              | 80                                                  | 105           | 88          | 630                  | 25.00          |                                                  | 65.00        |
| CSP-125-1-<br>15.5-1250  | 15                                                            | 125                                                                     | 145                                                       | 70                                                              | 60                                                  | 77            | 66          | 1 250                | 38.10          |                                                  | 99.06        |
| CSP-150-1-<br>25.8-1250  | 25.8                                                          | 150                                                                     | 165                                                       | 70                                                              | 60                                                  | 77            | 66          | 1 250                | 38.10          |                                                  | 99.06        |
| CSP-200-1-<br>38-1250    | 38                                                            | 200                                                                     | 220                                                       | 95                                                              | 80                                                  | 105           | 88          | 1 250                | 38.10          |                                                  | 99.06        |
| CSP-125-1-<br>15.5-2000  | 15                                                            | 125                                                                     | 145                                                       | 70                                                              | 60                                                  | 77            | 66          | 2 000                | 43.80          |                                                  | 113.80       |

Fuente: CFE V4200-25

Tabla 2.66 Especificación de cuchillas tripolar CFE

| Descripción<br>corta CFE       | Tensión<br>nominal de<br>diseño del<br>equipo Vn<br>kV eficaz | Nivel básico de aislamiento<br>al impulso por rayo NBAl<br>kV(cresta) |                                                           | Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz) |    |                                                          |    | Corriente<br>Nominal | Valor de prueba de la<br>corriente de aguante |              |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------|----|----------------------|-----------------------------------------------|--------------|
|                                |                                                               |                                                                       |                                                           |                                                           |    |                                                          |    |                      |                                               |              |
|                                |                                                               | Cerrada a<br>tierra<br>abierto a<br>través y<br>entre polos           | Abierta a<br>través de la<br>distancia del<br>aislamiento | Cerrada a tierra y entre<br>polos                         |    | Abierta a través de la dis-<br>tancia del<br>aislamiento |    | Amp                  | De corta<br>duración                          | Valor cresta |
|                                |                                                               |                                                                       |                                                           |                                                           |    |                                                          |    |                      |                                               |              |
| CSA-125-1-<br>15,5-630-MH      | 15                                                            | 125                                                                   | 145                                                       | 70                                                        | 60 | 77                                                       | 66 | 630                  | 25.00                                         | 65.00        |
| CSA-150-1-<br>25,8-630-MH      | 25.8                                                          | 150                                                                   | 165                                                       | 70                                                        | 60 | 77                                                       | 66 | 630                  | 25.00                                         | 65.00        |
| CSA-200-1-<br>38-630-MH        | 38                                                            | 200                                                                   | 220                                                       | 95                                                        | 80 | 105                                                      | 88 | 630                  | 25.00                                         | 65.00        |
| CSA-125-1-<br>15,5-1250-<br>MH | 15                                                            | 125                                                                   | 145                                                       | 70                                                        | 60 | 77                                                       | 66 | 1 250                | 38.10                                         | 99.06        |
| CSA-150-1-<br>25,8-1250-<br>MH | 25.8                                                          | 150                                                                   | 165                                                       | 70                                                        | 60 | 77                                                       | 66 | 1 250                | 38.10                                         | 99.06        |
| CSA-200-1-<br>38-1250-MH       | 38                                                            | 200                                                                   | 220                                                       | 95                                                        | 80 | 105                                                      | 88 | 1 250                | 38.10                                         | 99.06        |
| CSA-125-1-<br>15,5-2000-<br>MH | 15                                                            | 125                                                                   | 145                                                       | 70                                                        | 60 | 77                                                       | 66 | 2 000                | 43.80                                         | 113.80       |

Fuente: CFE V4200-25

Tabla 2.67 Cuchilla TTR6 para distribución hasta 25.8 kV

| Descripción<br>corta CFE | Tensión nomi-<br>nal de diseño<br>del equipo Vn<br>kV eficaz | Nivel básico de aislamiento al<br>impulso por rayo NBAl kV(cres-<br>ta) |                                                           | Tensión de aguante a la frecuencia de sistema<br>kV (eficaz) |                |                                                       |                | Corriente<br>Nominal | Valor de prueba de la corriente<br>de aguante |              |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------|----------------|----------------------|-----------------------------------------------|--------------|
|                          |                                                              |                                                                         |                                                           |                                                              |                |                                                       |                |                      |                                               |              |
|                          |                                                              | Cerrada a tie-<br>rra Abierta a<br>través y entre<br>polos              | Abierta a<br>través de la<br>distancia del<br>aislamiento | Cerrada a tierra y<br>entre polos                            |                | Abierta a través de la dis-<br>tancia del aislamiento |                | Amp                  | De corta<br>duración                          | Valor cresta |
|                          |                                                              |                                                                         |                                                           | Seco<br>1 min                                                | Húmedo<br>10 s | Seco<br>1 min                                         | Húmedo<br>10 s |                      | kA<br>(1 s)                                   | kA           |
| CSA-125-3-<br>15.5-630   | 16                                                           | 125                                                                     | 145                                                       | 70                                                           | 60             | 77                                                    | 66             | 630                  | 25.00                                         | 65.00        |
| CSA-125-3-<br>15.5-1250  | 15.5                                                         | 125                                                                     | 145                                                       | 70                                                           | 60             | 77                                                    | 66             | 1 250                | 38.10                                         | 99.06        |
| CSA-125-3-<br>15.5-2000  | 16                                                           | 125                                                                     | 145                                                       | 70                                                           | 60             | 77                                                    | 66             | 2 000                | 43.80                                         | 113.80       |
| CSA-150-3-<br>25.8-630   | 26                                                           | 150                                                                     | 165                                                       | 70                                                           | 60             | 77                                                    | 66             | 630                  | 25.00                                         | 65.00        |
| CSA-150-3-<br>25.8-1250  | 25.8                                                         | 150                                                                     | 165                                                       | 70                                                           | 60             | 77                                                    | 66             | 1250                 | 38.10                                         | 99.06        |

Fuente: CFE V4200-25, CFE V4200-12

Tabla 2.68 CuchillaTR6 para sistema de transmisión

| Descripción<br>corta CFE | Tensión nominal<br>del sistema<br>Vn kV eficaz | Tensión nominal<br>del diseño<br>de<br>cuchilla kV<br>eficaz | Tensión de aguante al impulso por<br>rayo (1.2/50<br>microsegundos) |                                                    |                    | Tensión de aguante a la<br>frecuencia de<br>sistema kV (eficaz) |                      | Corriente<br>Nominal | Valor de prueba de la<br>corriente de aguante |             |
|--------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------|-------------|
|                          |                                                |                                                              | Valores<br>comunes                                                  | Abierta<br>entre<br>contactos<br>de la<br>cuchilla | Valores<br>comunes | Abierta<br>entre<br>contactos<br>de la<br>cuchilla              | De corta<br>duración |                      | Valor<br>cresta                               |             |
|                          |                                                |                                                              |                                                                     |                                                    |                    | seco/<br>húmedo 1<br>min                                        |                      |                      | seco/<br>húmedo 1<br>min                      | kA<br>(1 s) |
| CSA-550-3-123-1250-MH/MV | 115                                            | 115                                                          | 123                                                                 | 550                                                | 630                | 230                                                             | 265                  | 1 250                | 31.5                                          | 82.9        |
| CSA-550-3-123-1600-MH/MV | 115                                            | 115                                                          | 123                                                                 | 550                                                | 630                | 230                                                             | 265                  | 1 600                | 40.00                                         | 104.00      |
| CSA-550-3-123-2000-MH/MV | 115                                            | 115                                                          | 123                                                                 | 550                                                | 630                | 230                                                             | 265                  | 2 000                | 40.00                                         | 104.00      |
| CSA-650-3-123-1250-MH/MV | 115                                            | 115                                                          | 123                                                                 | 650                                                | 750                | 275                                                             | 315                  | 1 250                | 31.50                                         | 81.90       |
| CSA-650-3-123-1600-MH/MV | 115                                            | 115                                                          | 123                                                                 | 650                                                | 750                | 275                                                             | 315                  | 1 600                | 40.00                                         | 104.00      |
| CSA-650-3-123-2000-MH/MV | 115                                            | 115                                                          | 123                                                                 | 650                                                | 750                | 275                                                             | 315                  | 2 000                | 40.00                                         | 104.00      |
| CSA-650-3-145-1250-MH/MV | 138                                            | 138                                                          | 145                                                                 | 650                                                | 750                | 275                                                             | 315                  | 1 250                | 31.50                                         | 81.90       |
| CSA-650-3-145-1600-MH/MV | 138                                            | 138                                                          | 145                                                                 | 650                                                | 750                | 275                                                             | 315                  | 1 600                | 40.00                                         | 104.00      |
| CSA-650-3-145-2000-MH/MV | 138                                            | 138                                                          | 145                                                                 | 650                                                | 750                | 275                                                             | 315                  | 2 000                | 40.00                                         | 104.00      |

Fuente: CFE V4200-25, CFE V4200-12



Tabla 2.69 Cuchillas DRV para distribución

| Descripción corta CFE    | Tensión nominal del sistema Vn kV eficaz | Tensión nominal del diseño de cuchilla kV eficaz | Tensión de aguante al impulso por rayo (1.2/50microsegundos)(kV pico) |                                        |                 | Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz) |                    | Corriente nominal de corta duración | Valor de prueba de la corriente de aguante |        |
|--------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|--------|
|                          |                                          |                                                  |                                                                       |                                        |                 |                                                           |                    |                                     |                                            |        |
|                          |                                          |                                                  | Valores comunes                                                       | Abierta entre contactos de la cuchilla | Valores comunes | Abierta entre contactos de la cuchilla                    | seco/ húmedo 1 min | A                                   | kA (1 s)                                   | kA     |
| CSA-750-3-145-1250-MH/MV | 138                                      |                                                  | 145                                                                   | 750                                    | 860             | 325                                                       | 375                | 1250                                | 31.50                                      | 81.90  |
| CSA-750-3-145-1600-MH/MV | 138                                      |                                                  | 145                                                                   | 750                                    | 860             | 325                                                       | 375                | 1600                                | 40.00                                      | 104.00 |
| CSA-750-3-145-2000-MH/MV | 138                                      |                                                  | 145                                                                   | 750                                    | 860             | 325                                                       | 375                | 2000                                | 40.00                                      | 104.00 |
| CSA-750-3-170-1250-MH/MV | 161                                      |                                                  | 170                                                                   | 750                                    | 860             | 325                                                       | 375                | 1250                                | 31.50                                      | 81.90  |
| CSA-750-3-170-1600-MH/MV | 161                                      |                                                  | 170                                                                   | 750                                    | 860             | 325                                                       | 375                | 1600                                | 40.00                                      | 104.00 |
| CSA-750-3-170-2000-MH/MV | 161                                      |                                                  | 170                                                                   | 750                                    | 860             | 325                                                       | 375                | 2000                                | 40.00                                      | 104.00 |

Fuente: CFE V4200-25, CFE V4200-12

Tabla 2.70 Cuchilla COGC

| Descripción corta CFE | Tensión nominal de diseño del equipo Vn kV eficaz | Nivel básico de aislamiento al impulso por rayo NBI kV(cresta) |                                                  | Tensión de aguante a la frecuencia de sistema kV (eficaz) |                                                  |            |             | Corriente Nominal | Valor de prueba de la corriente de aguante |              |
|-----------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------|-------------|-------------------|--------------------------------------------|--------------|
|                       |                                                   | Cerrada a tierra Abierta a través y entre polos                | Abierta a través de la distancia del aislamiento | Cerrada a tierra y entre polos                            | Abierta a través de la distancia del aislamiento | seco 1 min | húmedo 10 s |                   | De corta duración                          | Valor cresta |
| COGC-15-125V          | 16                                                | 125                                                            | 145                                              | 60                                                        | 77                                               | 70         | 66          | 630               | kA (1 s)                                   | 16.00        |
| COG-15-125V           | 15.5                                              | 125                                                            | 145                                              | 60                                                        | 77                                               | 70         | 66          | 630               | 25.00                                      |              |
| COGC-25-150V          | 26                                                | 150                                                            | 165                                              | 60                                                        | 77                                               | 70         | 66          | 630               |                                            | 16.00        |
| COG-25-150V           | 26                                                | 150                                                            | 165                                              | 60                                                        | 77                                               | 70         | 66          | 630               | 25.00                                      |              |
| COGC-25-170V          | 25.8                                              | 170                                                            | 195                                              | 70                                                        | 88                                               | 80         | 77          | 630               |                                            | 16           |
| COG-25-170V           | 25.8                                              | 170                                                            | 195                                              | 70                                                        | 88                                               | 80         | 77          | 630               | 25                                         |              |

Fuente: NRF-006-CFE

2.30. e Ilustración 2.31. Para la selección de tableros de mediana y baja tensión es necesario considerar los siguientes aspectos:

## 2.9.2. TENSIÓN NOMINAL

### 2.9.2.1. Tablero blindado (Metal-Clad)

Los valores de tensión nominal de los tableros Metal-Clad y tableros blindados para subestación compacta deben ser los indicados en la Tabla 2.71 y Tabla 2.72.

#### *Tensión de control*

Para energizar las bobinas de cierre, apertura del cortacircuito o el motor, si es de energía almacenada, las tensiones nominales de control se indicarán en la Tabla 2.73.

### 2.9.2.2. Tablero blindado para subestación compacta

Los valores de tensión de control se indican en la Tabla 2.73.

## 2.9.3. CARACTERÍSTICAS NORMATIVAS

### 2.9.3.1. Condiciones Normales de Servicio

Las condiciones que se consideran normales para la operación de los tableros de alta tensión y que se tendrán en cuenta deben ser como sigue:

1. La temperatura del aire ambiente no excede de 40°C y su valor promedio, medido en un período de 24 horas, no excede de 35°C
2. La temperatura mínima del aire ambiente no es inferior a:
  - a) Para instalación en interior: - 5°C
  - b) Instalación a la intemperie: - 25°C

**NOTA:** Se deben tomar medidas para asegurar la adecuada operación de componentes tales como relevadores, los cuales no están diseñados para estas condiciones.

## 2.9.4. TENSIÓN DE IMPULSO Y SOSTENIDA

Es la combinación de los valores de tensión (tensión sostenida a la frecuencia del sistema y tensión de impulso) que caracterizan el aislamiento de un tablero en relación con su aptitud para soportar los esfuerzos dieléctricos. Los valores de nivel de aislamiento para tableros Metal-Clad y tableros blindados para subestación compacta deben ser los indicados en la Tabla 2.71 y Tabla 2.72.

La tensión nominal de aislamiento (VA) de un circuito en un tablero blindado de distribución en baja tensión en un centro de control de motores y en un tablero de distribución de fuerza y alumbrado es el valor de tensión para el cual fue diseñado y para lo cual están referidas las pruebas dieléctricas, claros y distancias de fuga.

Ilustración 2.30 Tableros de media y baja tensión

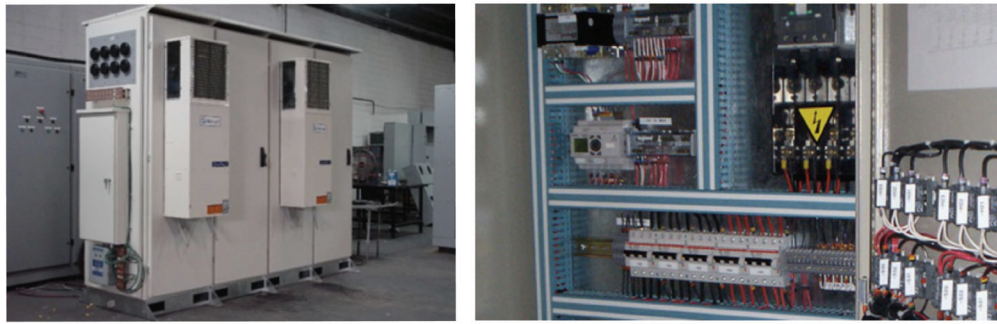


Ilustración 2.31 Tableros de media tensión



## 2.9.5. CORRIENTE

### 2.9.5.1. Corriente nominal

En los tableros Metal-Clad, los valores de corriente nominal que circularán por los alimentadores o barras colectoras, deben seleccionarse de los valores de la Tabla 2.74. La corriente que el circuito del tablero blindado para subestación compacta es

capaz de conducir continuamente bajo condiciones prescritas de uso y funcionamiento, el valor de esta corriente para HV se encuentra en 400 y 630 Amperes. En los tableros blindados en baja tensión los valores de corriente nominal, que circulará por los alimentadores o barras colectoras, deben seleccionarse de los siguientes: 400, 600, 630, 800, 1 000, 1 200, 1 250, 1 600, 2 000, 2 500, 3 000, 3 150, 4 000 y 5 000 amperes.

La corriente nominal  $I_n$  de un circuito de un centro de control de motores es establecida por el fabricante, tomando en consideración los rangos de los componentes del equipo eléctrico en el ensamble de un circuito, así como su disposición y aplicación, debido a que la determinación de los valores nominales es compleja, y estos no se han podido normalizar. Los valores de corriente nominal para los tableros de distribución de fuerza y alumbrado en HV deben ser los que se indican a continuación:

- a) 400-1 200 Amp. Zapatas principales
- b) 100-2 000 Amp. Interruptor principal
- c) 600 a 2 000 Amp. Capacidad en barras principales

#### 2.9.5.2. Corriente soportable de corto tiempo

Los valores de corriente soportable de corto tiempo están bajo consideración y el corto tiempo normalizado para estos valores será de un segundo. Para duraciones mayores de un segundo, la relación entre corrientes y tiempos, si no se especifica en otra forma, el fabricante debe considerar que está de acuerdo con la Ecuación 2.3.

$$\text{constante} = I^2 t \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Considerar que la corriente soportable de corto tiempo de un circuito es la corriente máxima (en valor eficaz) que puede soportar el propio circuito durante el corto tiempo prescrito, sin sufrir daño eléctrico, térmico, mecánico o deformación permanente.

#### 2.9.5.3. Corriente soportable de cresta

El valor de la corriente soportable de cresta en los tableros Metal-Clad y tableros blindado

para subestación debe ser igual a 25 veces la corriente soportable de corto tiempo. La corriente soportable de un circuito de un tablero blindado de distribución de baja tensión, un centro de control de motores y un tablero de distribución de fuerza y alumbrado es el valor de la corriente que el circuito puede soportar bajo condiciones de prueba.

#### 2.9.6. GRADOS DE PROTECCIÓN

Para tableros blindados (Metal-Clad) y tablero blindado para subestación el grado de protección debe especificarse separadamente para cubiertas y divisiones, es necesario especificar el grado de protección para cubiertas, el grado de protección se indica con un número característico de acuerdo con la Tabla 2.75.

El grado de protección existente en un tablero blindado de distribución de baja tensión, en un CCM y en un tablero de distribución de fuerza y alumbrado contra el contacto con partes vivas, la penetración de cuerpos sólidos y extraños así como líquidos, se indica en la Tabla 2.75.

#### 2.9.7. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

##### 2.9.7.1. Tablero blindado (Metal-Clad)

##### **Capacidad interruptiva**

Ésta podrá ser de 250 a 750 MVA y las características de los interruptores en aire para los tableros en media tensión se indican en la Tabla 2.76.

### ***Tipo de servicio***

Interior o intemperie con pasillo o sin pasillo.

### ***Tipo de mecanismo de operación del interruptor principal***

Podrá ser por medio de solenoide o energía almacenada.

### ***Cables de fuerza***

Éstos podrán entrar por la parte inferior del módulo y por la parte superior para módulos con interruptor de enlace.

### ***Preparación de superficies y recubrimientos***

El acabado de estructuras y gabinetes, consiste de epóxico catalizador, excepto que se indique otro color en la hoja de datos de la especificación.

### ***Accesorios***

Los tableros de mediana tensión podrán contar con los siguientes accesorios de acuerdo a las necesidades de operación:

1. Transformadores de corriente
2. Transformadores de potencial
3. Relevadores de protección
4. Instrumentos de medición
5. Indicadores, voltímetros y amperímetros
6. Conmutadores de instrumentos y prueba
7. Lámparas indicadoras
8. Resistencias tipo calefactoras de espacio y termostato

### ***2.9.7.2. Tablero blindado para subestación compacta***

Término genérico con que se designa al conjunto integrado en un gabinete metálico, totalmente cerrado, éstos se fabrican en secciones para facilitar su transporte y montaje, pero una vez instalados forman un solo conjunto. Cada sección llena una función, mide, protege, conecta o desconecta y transforma. Los aparatos o equipos y sus conexiones se encierran en gabinetes metálicos de tal manera que protegen a los equipos, la propiedad y a las personas encargadas de su manejo.

### ***Tipo de servicio***

Interior.- Para ser montados en el interior de un edificio, bajo un cobertizo sin que se vean afectados por la lluvia, la humedad o cualquier otro agente físico que la perjudiquen, se fabrican con lámina no menor de 2.1 mm (1/16") de espesor.

Exterior o intemperie; Para ser montadas a la intemperie, directamente sobre una cimentación de concreto y expuesta a la lluvia y al sol. Se fabrican con lámina no menor de 3.2 mm (1/8"), con techo inclinado, puertas con empaque de neopreno y sin dejar expuestos aparatos o elementos de control.

El tablero estará formado por gabinetes individuales integrando un arreglo de un solo frente. En la Tabla 2.77 y Tabla 2.78, se indican los componentes normales y opcionales de una subestación y las dimensiones de los gabinetes y transformadores.

### ***Barras de tierra***

Deberá llevar una barra de tierra de cobre de alta conductividad a todo lo largo del tablero con una capacidad del 25 % de las barras principales con zapatas del tipo mecánico con prisionero central.

### ***Resistencias calefactoras***

Para evitar condensación de la humedad dentro de los gabinetes, se deberán proporcionar resistencias calefactoras para servicio continuo con cubierta de acero inoxidable con tensión de operación de 127 V, 250 W, o 220 V, 300 W controlado por un termostato.

### ***Barras principales***

Las barras principales como las derivadas, serán de cobre electrolítico de alta conductividad. Las conexiones y uniones de barras principales y derivadas, se proporcionarán en la Tabla 2.79 donde se indican las características eléctricas principales de las subestaciones.

#### **2.9.7.3. Tablero blindado en baja tensión**

El tablero para baja tensión del tipo blindado, está formado por secciones rígidamente soldadas, autoportadas, unidas entre sí para formar ensambles, con interruptores del tipo electromagnético, montaje fijo o removible, tres polos, tiro sencillo, operación eléctrica o manual y mecanismo de energía almacenada. El tablero se fabrica para servicio interior o para servicio a intemperie. El tablero será diseñado en tal forma que pueda acoplarse en sus extremos con otras secciones del mismo tipo.

El tablero o secciones para su embarque, serán provistos de una base de canal estructural que per-

mite su instalación sobre canales. Esta estructura estará fabricada con perfiles de lámina de acero rolada en frío para lograr una alta resistencia mecánica.

La estructura deberá tener suficiente rigidez para soportar los esfuerzos mecánicos producidos por la corriente de cortocircuito, así como los esfuerzos ocasionados por la apertura y cierre de los interruptores.

Los compartimentos del tablero estarán contruidos de tal forma, que se encontrarán separados y aislados por barreras metálicas de acero para cada interruptor, instrumento y barras. Cada uno de los compartimentos de interruptor o instrumentos contará con una puerta frontal embisagrada con perillas moleteadas. En la parte posterior, se proporcionarán cubiertas desmontables atornilladas, para facilitar su acceso al compartimento de cables.

### ***Capacidad interruptiva***

La capacidad interruptiva es 85 kA (en sistemas a 480 V).

### ***Barras y conexiones***

Las barras principales y las derivadas serán de cobre electrolítico de alta conductividad y en capacidades de 800 a 4000 A. Las conexiones y uniones de barras principales y derivadas, serán plateadas y fijadas con tornillos.

### ***Barra de tierra***

La barra de tierra será de cobre electrolítico de alta conductividad en todo lo largo del tablero con una capacidad del 25 por ciento de las barras principales y zapatas del tipo



mecánico con prisionero central para calibres de conductores requeridos.

### ***Soportes***

Las barras serán soportadas por aisladores de porcelana o resina epóxica, con nivel de aislamiento y resistencia mecánica para soportar los esfuerzos causados por la corriente simétrica de cortocircuito.

### ***Alambrado de control***

El alambrado de control será con cable calibre 14 AWG con aislamiento retardante a la flama, con tensión máxima de operación de 600 V y temperatura máxima de operación de 90 grados centígrados.

### ***Alambrado de dispositivos***

Los dispositivos empleados para control, protección y medición montados en el tablero, serán alambrados entre sí mediante conductores provistos de zapatas terminales de compresión tipo ojillo y las puntas finales irán alambradas hasta las tablillas terminales.

### ***Lámparas indicadoras***

Lámpara piloto con protección de penetración de polvo y agua, tipo resistencia o transformador, con foco de 6 u 8 volts con capuchones en colores rojo, verde y ámbar según se requiera.

### ***Conmutador de cierre-disparo de interruptor***

Este conmutador será de tres posiciones, dos con contactos momentáneos, retorno automático y una con contacto sostenido, con capacidad continua de 20 a 480 V.

### ***Conmutador amperímetro-voltímetro***

Estos conmutadores serán de cuatro posiciones, con contactos sostenidos traslapados, con capacidad de 10 a 480 V.

### ***Placas de leyenda***

Estas placas de leyenda serán de aluminio anodizado, fondo negro y letras blancas.

### ***Transformadores de corriente y potencial***

Serán del tipo seco, con aislamiento para 600 V.

Los transformadores de corriente serán del tipo ventana, se colocará uno en cada fase a la entrada de los interruptores principales o a la salida de los derivados. La relación, la clase y la potencia de precisión se darán de acuerdo a los requerimientos del diseñador. Los transformadores de potencial serán dos para cada alimentador principal, con fusibles en el primario y en el secundario. La relación, la clase y la potencia de precisión se darán de acuerdo a los requerimientos del diseñador.

### ***Instrumentos de medición***

Serán del tipo semiembutido para montarse en tablero, con terminales de conexión en la parte posterior, con caja en color negro y caratula blanca con números negros, operarán con transformadores de corriente de 5 A en el secundario y de potencial de 120 V en el secundario.

### ***Resistencias calefactoras***

Para evitar condensaciones de la humedad dentro de los gabinetes, deberán colocarse resistencias calefactoras para servicio continuo con cubierta de acero inoxidable y tensión de opera-



ción de 127 V, 250 W, ò 220 V, 300 W controladas por termostato.

#### 2.9.7.4.Tableros de distribución de corriente directa

1. Se requieren tableros de distribución de corriente directa de 125 V.c.d y 48 V.c.d, que sean entregados de acuerdo con estas especificaciones técnicas, fabricados con componentes eléctricos nuevos
2. Se emplearán para alimentar los circuitos de control y de fuerza (motores c.d., alumbrado de emergencia, equipo de comunicación, etc.), necesarios para la operación de la subestación
3. Los tableros de distribución de corriente directa serán construidos para ser instalados en interiores. Se utilizarán para suministrar los requerimientos de alimentación de corriente directa con una tensión nominal de 125 V.c.d y 48 V.c.d. Por lo tanto la clase de protección será IP54 según IEC 144 u otra equivalente
4. El sistema de corriente directa de la subestación (que por lo tanto incluye a los tableros de distribución de corriente directa de 125 V.c.d ), deberá de ser aislado de tierra
5. El convertidor de 125 V.c.d/48 V.c.d solicitado en las especificaciones técnicas generales de tableros de distribución de corriente alterna, corriente directa y servicio propio para subestaciones, deberá instalarse en un tablero denominado de donde se distribuirá a todas las cargas correspondientes a través de interruptores termomagnéticos. En el tablero deberá existir un interruptor termomagnético de entrada, para interconectarlo con el tablero de distribución de 125 V c.d
6. Las barras conductoras serán de cobre electrolítico de alta conductividad, dispuesta en forma tal, que soporten los efectos térmicos y dinámicos que pueda producir el cortocircuito máximo. Las barras conductoras de cobre tendrán una capacidad nominal de 200 Amperios como mínimo
7. La tensión de aislamiento será para 600 volts como mínimo
8. Cada uno de los tableros de distribución de corriente directa se deberá de suministrar con el siguiente equipo:
  - a) Un relé de bajo voltaje, conectado entre las barras principales (en la acometida)
  - b) Un relé de supervisión de fallas a tierra, del positivo y del negativo
  - c) Un voltímetro de corriente directa
  - d) Interruptores bipolares, del tipo de caja moldeada, con unidades de activación termomagnético, y como mínimo con un contacto auxiliar de posición NA (normalmente abierto) y un contacto auxiliar de posición NC (normalmente cerrado), totalmente independientes entre sí, esto es, no se permite el uso de contactos de sobre cambio, también denominados de un polo-doble tiro
9. Los interruptores termomagnéticos deberán tener una capacidad mínima interruptiva de 10 kA
10. La cantidad y capacidad de los interruptores termomagnéticos en cada tablero de distribución, así como la disposición de éstos en cada tablero, se indicarán en el proyecto
11. Los relés solicitados (de bajo voltaje y de fallas a tierra) para cada tablero, incluirán como mínimo dos contactos independientes de doble polo doble tiro, esto es, 2 NC (normalmente cerrado) y

2 NA (normalmente abierto), los cuales se usarán para la indicación y la alarma de las fallas que supervisan. Todos estos contactos auxiliares (libres de potencial) deberán estar alambrados a bornes terminales de regleta

12. La construcción de todos los tableros será de tal manera que se ha de impedir el contacto accidental con las partes energizadas del tablero, como por ejemplo barras y bornes

13. Considerando lo anterior, para los tableros de distribución de corriente directa, las barras energizadas deberán cubrirse mediante láminas acrílicas transparentes, aislantes y apropiadas para este fin, de tal manera que éstas protejan a los operarios de inspección o mantenimiento de choques eléctricos o contactos accidentales

#### 2.9.7.5. Centro de control de motores

Gabinete que tiene por objeto montar los dispositivos de control y protección de varios motores, formado por secciones rígidamente soldadas, auto-soportadas, unidas entre sí para formar ensambles, las estructuras tienen 228 cm. de alto, 55 cm. de ancho y 50 cm. de fondo, cada sección tiene un máximo de seis compartimentos para controlar motores de 15 h.p a 220 V o de 25 h.p en 480 V, cada uno de estos compartimentos son cajas (sille-tas) que pueden enchufarse y extraerse para modificación o mantenimiento.

El centro de control de motores se fabrica para servicio interior o intemperie. El diseño contempla que puede acoplarse en sus extremos con otras secciones del mismo tipo, en el frente llevan puertas para permitir el acceso al equipo para su conexión y servicio, varias secciones colocadas una al lado de otra (o espalda con es-

palda) forman un conjunto de frente muerto. El ensamble del centro de control de motores deberá tener suficiente rigidez para soportar los esfuerzos mecánicos producidos por la corriente de cortocircuito, así como los esfuerzos normales de operación y de montaje.

#### **Capacidad interruptiva**

La Capacidad interruptiva es 22 kA.

#### **Barras colectoras principales**

Para la distribución de la energía se deberán usar un juego de barras con capacidad de 300 amperes como mínimo, y en centros de control de motores de doble frente la capacidad mínima de las barras verticales será incrementada a 600 amperes.

#### **Barras de bus horizontal**

Cada compartimento vertical y ducto de alambrado se encuentra aislado de las barras horizontales por medio de barretas metálicas.

#### **Ducto vertical de alambrado**

El ducto de alambrado de 111 mm de ancho interior entre unidades removibles adyacentes, además abarca todo el fondo de la estructura.

#### **Ducto horizontal de alambrado**

Espacios de 229 mm en las partes superior e inferior de la estructura suministran los ductos necesarios para el alambrado entre las secciones.

#### **Cables de entrada**

Los cables de alimentación pueden entrar por la parte superior o inferior del centro de control y

pueden ser conectados fácilmente a las zapatas montadas en las barras o al interruptor principal.

### ***Espacios libres para recibir tubos conduit***

El diseño de la estructura con armazón abierta, proporciona máximo espacio para la entrada de tubos conduit, en la parte superior o inferior de la misma.

### ***Unidad removable***

El centro de control de motores aloja arrancadores hasta el tamaño NEMA 5. Cada unidad está completamente aislada de las unidades adyacentes. Los interiores de las unidades están cerrados excepto en un espacio cerca del fondo de la unidad que sirve para la entrada y salida de los cables que van al ducto vertical de alambrado. Las conexiones al bus vertical son hechas mediante contactos deslizantes. Los espacios mínimos necesarios ocupados por las diferentes combinaciones de las unidades removibles en CCM se muestran en la Tabla 2.80.

### ***Componentes de la unidad removable***

Cada unidad removable de arrancador o combinación está equipada con un interruptor de caja moldeada termomagnético, que es operado por una manija que va montada sobre el mismo interruptor.

Los arrancadores estándar están equipados con relevadores de sobrecarga en 2 polos, con reposición manual o automática.

Cada arrancador lleva su propio contacto de sello para el circuito de la bobina, transformador de control y opcionalmente contactos auxiliares.

Las corrientes y capacidades máximas para arrancadores así como sus combinaciones de interruptores y arrancadores para motores trifásicos se muestran en la Tabla 2.81 y Tabla 2.82.

### ***Mecanismo de operación***

Una manija de movimiento vertical de posiciones indica las posiciones de cerrado, abierto o activación (disparo) del interruptor, cuenta con un mecanismo de candado que hace posible asegurar el interruptor en las posiciones de abierto o cerrado.

### ***Transformador de control***

Tipo encapsulado de 180/120 V.c.a. 60 Hz, con portafusibles de 600 V y fusibles de 30 A en lado primario y 10 A en lado secundario.

### ***Lámparas indicadoras***

Estas lámparas deben cumplir con lo siguiente:

- a) Tensión nominal 120 V. en c.a
- b) Tipo transformador o resistencia
- c) Focos de 6 V
- d) Capuchones desmontables rojo, verde y blanco

### ***Estación de botones***

Estas estaciones deben cumplir con lo siguiente:

- a) Contacto momentáneo 600 V c.a. y 100 A. momentáneos, 30 A. interruptivos, 3 A. continuos, en 120 V en c.a
- b) Para arrancador no reversible: arrancar-parar
- c) Para arrancador reversible: adelante, atrás y parar

### ***Resistencias tipo calefactoras de espacio y termostato***

- a) Tensión de alimentación 127 o 220 V en c.a
- b) Potencia 150 o 220 watts
- c) Protección mecánica rejilla metálica
- d) Control por termostato automático con temperatura ajustada entre 15 y 30 grados centígrados
- e) Protección por fusibles del tipo cartucho

### ***Placas de identificación***

Cada tablero contará con una placa de identificación, la cual será de aluminio anodizada, fondo negro y letras blancas.

### ***Instrumentos de medición***

Serán del tipo Semi-embutido para montarse en tablero, con terminales de conexión en la parte posterior y podrán operar con transformadores de corriente de 5 A en el secundario y de potencial de 120 V en el secundario.

### ***Transformadores de corriente y potencial***

Estos serán del tipo seco, con aislamiento para 600 V. la relación, la clase y la precisión se darán de acuerdo a los requerimientos de diseño.

#### ***2.9.7.6. Tablero de distribución de fuerza y alumbrado***

Los tableros de distribución y alumbrado del tipo autosoportado o sobrepuesto suministran amplias posibilidades de aplicación en sistemas de distri-

bución de baja tensión. Están disponibles con una amplia gama de interruptores y gabinetes.

Los interruptores se montan horizontalmente y se conectan a las barras principales por medio de conectores. El conjunto de interruptores y barras eléctricamente unidos van instalados en un solo ensamble o frente que se integra al gabinete.

El gabinete tiene una estructura firme, y cubiertas atornilladas que se desmontan con facilidad para mayor facilidad de acceso durante el montaje o mantenimiento.

Estos tableros pueden llevar equipo de medición opcional como son: Amperímetro, voltímetro, conmutadores de fases con transformadores de potencial y corriente.

Los tableros de baja tensión se pueden fabricar como se describe a continuación:

- a) Tablero de frente vivo: Es aquel que tiene partes vivas expuestas en el frente
- b) Tablero de frente muerto: Es aquel donde las partes vivas no están expuestas en el frente
- c) Tablero cerrado: Es aquel con el frente muerto que tiene una cubierta metálica que cubre totalmente el ensamble. El acceso al interior del tablero es a través de puertas o cubiertas

### ***Capacidad interruptiva***

- 65 kA simétricos, a 240 V en c.a.
- 35 a 51 kA simétricos, a 480 V en c.a.

## **Sistema**

- 3 fases; 3 hilos
- 3 fases; 4 hilos

## **Barras colectoras principales**

Para la distribución de energía se deberán usar un juego de barras con capacidad en amperes de: 600, 800, 1200, 2 000, 1 600.

## **Alimentación**

La alimentación se puede hacer a través de zapatas o interruptor principal.

## **Construcción de gabinete**

Este tablero se construye en gabinete NEMA 1 como equipo estándar.

## **Interruptores derivados**

Las capacidades de los interruptores derivados deberán ser de:

10 a 1200 A. estos y otros valores se indican en la Tabla 2.83 y Tabla 2.84.

## **Instrumentos de medición**

Serán del tipo semi-embutido para montaje en tablero, con terminales de conexión en la parte posterior, con caja en color negro y carátula blanca con números negros. Operarán con transformadores de corriente de 5 A. en el secundario y de potencial de 120 V. en el secundario.

## **Placas de leyenda**

Estas placas de leyenda serán de aluminio anodi-

zado, fondo negro y letras blancas.

## **2.9.7.7. Tableros de protección, control y medición para subestaciones eléctricas**

Para este apartado se toma como referencia la norma CFE V6700-62, la cual aplica para tableros de protección, control y medición que sean instalados en subestaciones eléctricas de transmisión y distribución.

La identificación por protecciones primarias para líneas y alimentadores se presenta en la Tabla 2.85. La nomenclatura de la Tabla 2.86 y Tabla 2.87 se utiliza para identificar el arreglo de barras de la subestación donde se va a instalar la sección tipo y forma parte del nombre asignado para la descripción del mismo. Por su parte la Tabla 2.88 muestra la identificación por equipo de monitoreo y medición; la Tabla 2.89 muestra la identificación por tipo de construcción. Se debe contar con la medición de: valores instantáneos de tensión (V), corriente (A), potencia activa (MW), potencia reactiva (Mvar) y frecuencia (Hz); valores integrados de energía activa (MWh) y energía reactiva (MVARh) y cuando se indique en Características Particulares, el registro de “sags” y “swells”.

## **2.9.8. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS**

Las condiciones que se consideran normales para la operación de los tableros y que se tendrán en cuenta para el diseño y construcción de los mismos serán las siguientes:

### **2.9.8.1. Elevación de temperatura**

En los tableros Metal-Clad y tableros blindados

para subestación la elevación de temperatura sobre el ambiente en condiciones normales de servicio de cualquier componente contenido en un tablero no debe exceder los límites de elevación de temperatura prescritos en la especificación relativa a ese componente, los cuales estén referidos a la temperatura del aire ambiente. Los límites de elevación de temperatura no deben excederse de los datos de la Tabla 2.90, para tableros blindados de distribución en baja tensión, en los centros de control de motores y en los tableros de distribución de fuerza y alumbrado.

#### 2.9.8.2.Temperatura ambiente

En tableros blindados (Metal-Clad) y en tableros blindados para subestación la temperatura del aire ambiente no excederá de 40 grados centígrados y su valor promedio medido en un período de 24 horas, no excederá de 35 grados centígrados. Para los tableros blindados de distribución en baja tensión, los centros de control de motores y los tableros de distribución de fuerza y alumbrado, los valores de temperatura ambiente no deben exceder de +10°C, y el promedio sobre un período de 24 horas, no debe ser mayor de +55°C.

#### 2.9.8.3.Temperatura mínima

La temperatura mínima del aire ambiente no será inferior a:

- Para instalación en interior a -5 °C
- Para instalación a la intemperie a -25 °C

#### 2.9.8.4.Altitud

En los tableros blindados (Metal-Clad) y tableros blindados para subestación la altitud no excederá de 1 000 m. Al seleccionar tableros para altitudes que excedan de 1 000 m debe consultarse la Tabla 2.91, para el caso de tableros que tengan partes aisladas por aire a la presión atmosférica.

En los tableros blindados para distribución en baja tensión, los centros de control de motores y los tableros para distribución de fuerza y alumbrado los valores de altitud se indican de igual forma en la Tabla 2.91.

#### 2.9.8.5.Atmósfera contaminada

Es la mezcla de aire y vapores o gases de aire y polvos o fibras combustibles en proporciones tales que en contacto con energía calorífica, ocasionan una explosión o fuego.

#### 2.9.8.6.Exposición al calor y clima húmedo

Para instalación intemperie, el fabricante debe tomar en cuenta la presencia de condensación, lluvia, nieve, una capa de hielo o escarcha hasta de 5 kg/m<sup>2</sup>, cambio rápido de temperatura, presión del viento de 700 PA (71.4 kg/m<sup>2</sup>) y los efectos de la radiación solar.

#### 2.9.8.7.Instalación de gabinetes de acuerdo a la designación de NOM

En los tableros blindados (Metal-Clad) y los tableros blindados para subestación, la descripción sim-

plificada de los diferentes tipos de caja o gabinete según designaciones NOM, con el fin de proteger el equipo eléctrico alojado en los mismos, contra las condiciones externas y con objeto de prevenir a las personas de contacto accidental con partes vivas, se muestran a continuación y serán seleccionados de acuerdo a las necesidades de instalación en la Tabla 2.92 y Tabla 2.93.

#### 2.9.8.8. Recomendaciones

La selección de tableros para mediana y baja tensión debe hacerse cuidadosamente, pues se trata de adquirir equipo cuya mano de obra en la instalación de los mismos sea lo más económica, rápida y fácil, no obstante ello, estos tableros requieren de precauciones especiales, para su manejo, instalación y operación, para lo cual recomendamos escoger una marca acreditada, que entregue esta clase de tableros con una construcción provista de seguridad sobre todo rigidez en la estructura metálica, ya que vienen provistos con dispositivos de protección, medición, control y transformadores para medición y control.

Una recomendación más es la de capacitar al personal que va a operar estos tableros, todas las partes de su funcionamiento y forma de operar para evitar posibles fallas en el sistema.

Si los tableros incluyen relevadores, quite los blocks de las armaduras, verifique los circuitos de control (excepto los circuitos de los transformadores de potencial y de corriente) para asegurarse que no hay conexiones a tierra o cables deteriorados que puedan provocar un corto circuito antes de energizarlos. No trabaje con partes vivas. Si fuera necesario trabajar en algún circuito en el compartimiento posterior de cables, deberá energizarse el bus principal

y verificar que no haya retroalimentación de otras fuentes. Si esto no fuera posible, únicamente deberán quitarse las cubiertas posteriores del compartimiento en cuestión, cubriendo las partes vivas con material aislante adecuado. Si un tablero para servicio intemperie tiene que alimentarse antes de su instalación, deberán tomarse providencias para energizar las resistencias y controlar la condensación de humedad dentro del tablero. Si un tablero para servicio interior se tiene que almacenar antes de instalarlo, deberá protegerse contra la humedad, bajo techo y mantenerse libre de condensación. En el manejo de los tableros (aunque estén empacados) se deberá tener cuidado, ya que contienen relevadores e instrumentos delicados que podrían dañarse con un manejo rudo.

#### 2.9.9. TABLEROS DE TRASFERENCIA

El tablero de transferencia está diseñado para operar en forma continua para alimentar la carga o cargas conectadas a la unidad básica de transferencia ya sea por el lado de la red (fuente normal) o por el lado de respaldo con la Planta eléctrica de emergencia.

El tablero está conformado por una unidad básica de transferencia tipo contactores, con contactos auxiliares para tener bloqueo de tipo eléctrico y con enclavamiento mecánico que impide que ambas fuentes cierren al mismo tiempo.

Entradas digitales totalmente programables:

- Parada de Emergencia
- Arranque Remoto
- Sobrecarga Generador
- Contactor de Red
- Contactor de Generador



Entradas análogas:

- Temperatura del Motor
- Presión de Aceite
- Nivel de Combustible
- Entradas para tensión de Red
- Entradas para tensión de Generador

Funciones de los tableros de transferencia automática:

- Sensar el voltaje de alimentación
- Dar la señal de arranque a la planta cuando el voltaje falta, baja o sube de un nivel adecuado
- Realizar la transferencia de la carga de la red comercial a la planta y viceversa. (Esta función se realiza a través de la unidad de fuerza, que puede ser del tipo contactores o interruptores, según la capacidad requerida)
- Dar la señal a la unidad de fuerza para que haga el cambio cuando se normaliza la alimentación (retransferencia)
- Retardar la retransferencia para dar tiempo a la compañía suministradora de normalizar su alimentación
- Retardar la señal de paro al motor para lograr su enfriamiento
- Mandar la señal de paro al motor a través del control maestro
- Mantener cargado el acumulador
- Permitir un simulacro de falla de la compañía suministradora

#### 2.9.10. VARIADORES E INVERSORES

Los convertidores de frecuencia son equipos destinados al control de velocidad de motores

eléctricos de inducción trifásicos, para una amplia gama de aplicaciones industriales. Con tecnología de última generación y diseño moderno, permiten una fácil instalación/operación y se adaptan perfectamente a las necesidades de los accionamientos con una excelente relación costo-beneficio.

Estos equipos en su actualidad han sido proyectados con software de última generación lo que permite equipos optimizados y una excelente interactividad con el usuario a través de la HMI (Interfaz Hombre Máquina).

Además disponen de funciones y recursos especiales que permiten protección y control (velocidad, par o posición) de los motores eléctricos y proporcionan aumento de eficiencia / productividad de los sistemas, en la Ilustración 2.32 se muestra un variador de velocidad

### 2.10. SELECCIÓN DE CONDUCTORES<sup>9</sup>

Para la selección adecuada de un conductor es necesario considerar los siguientes factores ver Ilustración 2.33 e Ilustración 2.34.

<sup>9</sup> Fuente: ACS = International Annealed Copper Estándar, NOM-001-SEDE

#### Nota Importante:

Es importante recordar que para la selección, mantenimiento e instalación de las especificaciones de variadores e inversores se requiere totalmente los manuales de patente de fabricante.



Ilustración 2.32 Variador de velocidad



Tabla 2.71 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica americana

| Tensión nominal<br>(valor eficaz)<br>kV | Tensión nominal<br>(valor eficaz) kV | Tensión soportable de impulso (1.2/50 $\mu$ S) (valor de cresta) kV |                                            | Tensión soportable sostenida<br>(1min, 60hz) (valor eficaz) kV |                                            |
|-----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                         |                                      | A tierra y entre fases                                              | A través de la distancia de seccionamiento | A tierra y entre fases                                         | A través de la distancia de seccionamiento |
| 4.16                                    | 4.76                                 | 60                                                                  | 66                                         | 19                                                             | 21                                         |
| 7.2                                     | 8.25                                 | 75                                                                  | 83                                         | 26                                                             | 29                                         |
| 13.8                                    | 15.0                                 | 95                                                                  | 105                                        | 36                                                             | 40                                         |
| 23.                                     | 25.8                                 | 125                                                                 | 138                                        | 60                                                             | 66                                         |
| 34.5                                    | 38.0                                 | 150                                                                 | 165                                        | 80                                                             | 88                                         |

Nota: Estos valores se aplican a condiciones atmosféricas normales como:

Temperatura ambiente 25°C, Presión atmosférica 760 mm de Hg. Humedad de 1g/m<sup>3</sup>.

Los valores de tensión nominal de los tableros de baja tensión blindados deben ser los que se indican a continuación: 240 V; 110 V

Los valores de tensión nominal de los centros de control de motores deben ser los que se indican a continuación: 220V; 110V

Los valores de tensión nominal de los tableros de distribución de fuerza y alumbrado deben ser los que se indican a continuación: 2240 V.c.a.; 48 V.c.d., 600 V.c.a.; 250 V.c.d.

Fuente: NMX-J-068

Tabla 2.72 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica europea

| Tensión nominal<br>(valor eficaz)<br>kV | Tensión máxima<br>(valor eficaz) k | Tensión soportable de impulso (1.2/50 $\mu$ S) (valor de cresta) kV |                                            | Tensión soportable sostenida<br>(1min, 60 Hz.) (valor eficaz) kV |                                            |
|-----------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                         |                                    | A tierra y entre fases                                              | A través de la distancia de seccionamiento | A tierra y entre fases                                           | A través de la distancia de seccionamiento |
| 3.3                                     | 3.6                                | 40                                                                  | 46                                         | 10                                                               | 12                                         |
| 6.6                                     | 7.2                                | 60                                                                  | 70                                         | 20                                                               | 23                                         |
| 15                                      | 17.5                               | 95                                                                  | 110                                        | 338                                                              | 45                                         |
| 22                                      | 24                                 | 125                                                                 | 145                                        | 50                                                               | 60                                         |
| 33                                      | 36                                 | 170                                                                 | 195                                        | 70                                                               | 80                                         |

Nota: Estos valores se aplican a condiciones atmosféricas normales como: Temperatura ambiente 25°C, Presión atmosférica 760 mm de Hg, Humedad de 1 g/m<sup>3</sup>

Fuente: NMX-J-068

Tabla 2.73 Tensiones nominales, niveles de aislamiento y valores de prueba dieléctrica para tableros de 15 kV a 38 kV

| Tensión nominal de control | Corriente nominal (A) | Corriente nominal de corto circuito (A) | Tensión de aguante a 60 Hz (kV) | Nivel básico de aislamiento al impulso |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
| 15                         | 1 250                 | 25; 31.5 y 40                           | 35                              | 95                                     |
|                            | 2 000                 |                                         |                                 |                                        |
| 25.8                       | 2 000                 | 25 y 31.5                               | 50                              | 125                                    |
| 38                         | 1250                  | 25 y 31.5                               | 70                              | 170                                    |

Fuente: NFR-030-CFE

Tabla 2.74 Valores nominales de corriente en barras colectoras y alimentadores

| Corrientes nominales para alimentadores o barras colectoras (amperes) |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|-------|
| 400                                                                   | 1 200 | 3 000 |
| 600                                                                   | 1 250 | 3 150 |
| 630                                                                   | 1 600 | 4 000 |
| 800                                                                   | 2 000 | 5 000 |
| 100                                                                   | 2 500 | -     |

Fuente: NMX-J-068

Tabla 2.75 Grados de protección

| Segundo número característico | Grado de protección               |                                                                                                                     |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | Breve descripción                 | Definición                                                                                                          |
| 0                             | No protegido                      | Sin protección especial                                                                                             |
| 1                             | Protegido contra el goteo de agua | El goteo de agua en forma vertical, no debe tener efecto perjudicial                                                |
| 3                             | Protegido contra la lluvia        | Agua que cae en forma rociada en un ángulo de hasta 60° respecto de la vertical, no debe tener efecto perjudicial   |
| 4                             | Protegido contra salpicaduras     | Agua dirigida contra la envolvente en forma de salpicaduras, en todas direcciones, no debe tener efecto perjudicial |

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.76 Características de selección de cortocircuitos en aire para tableros en media tensión

| Identificación           |                           | Valores nominales      |                                   |                               |          |                            |                                                           | Capacidades requeridas |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------|----------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|---------|--------|------|--------|--------|-------------|------------|--------|--------|--------|
| Clase de tensión nominal | Clase nominal MVA 3 fases | Tensión                |                                   | Nivel de aislamiento          |          | Corriente                  |                                                           | Tiempo                 | Retardo                          | Tensión                         | Valores de corriente   |                                          |                                    | Peso Kg |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           | Tensión máxima nominal | Factor de rango de tensión máxima | Tensiones nominales de prueba |          | Corriente nominal continua | Corriente nominal de corto circuito (a máx. kV nominales) | interrupción nominal   | nominal permisible en el disparo | máxima nominal dividida entre K | Capacidad interruptiva | Capacidad de conducción tiempo cortó 3 s | Capacidad momentánea cerrar trabar |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   | Baja frecuencia               | Im-pulso |                            |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          |                            |                                                           |                        |                                  |                                 | E kV rmc               | k                                        | kV rmc                             |         | kV rmc | Amp. | kA rmc | Ciclos | en segundos | E/K kV rmc | kA rmc | kA rmc | kA rmc |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          |                            |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
| 4.16                     | 250                       | 4.76                   | 1.24                              | 19                            | 60       | 2 000                      | 29                                                        | 5                      | 2                                | 3.85                            | 36                     | 36                                       | 58                                 | 335     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 1 200                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          | 78                                 | 343     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 2 000                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          | 350                       |                        | 1.19                              |                               |          | 1 200                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 2 000                      | 41                                                        |                        |                                  | 40                              | 49                     | 49                                       | 78                                 | 513     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
| 7.2                      |                           |                        |                                   |                               |          | 3 000                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    | 625     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 1 200                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          | 500                       | 8.25                   | 1.25                              | 36                            | 95       | 2 000                      | 33                                                        | 5                      | 2                                | 6.6                             | 41                     | 41                                       | 66                                 | 658     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 1 200                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          | 37                                 | 636     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 2 000                      | 18                                                        |                        |                                  |                                 | 23                     | 23                                       | 58                                 | 640     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
| 13.8                     | 500                       |                        |                                   |                               |          | 2 000                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 1 200                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 2 000                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 1 200                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          | 750                       |                        |                                   |                               |          | 2 000                      | 28                                                        | 5                      | 2                                | 115                             | 36                     | 36                                       | 58                                 | 720     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 1 200                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          | 77                                 | 728     |        |      |        |        |             |            |        |        |        |
|                          |                           |                        |                                   |                               |          | 2 000                      |                                                           |                        |                                  |                                 |                        |                                          |                                    |         |        |      |        |        |             |            |        |        |        |

Tabla 2.77 Componentes normales y opcionales de una subestación compacta

| Componente                | Especificaciones                                                                                                               |                                                                          | Gabinete |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------|
|                           | Normal                                                                                                                         | Opcional                                                                 |          |
| Acometida                 | Para conexión y medición de la Cía. de Luz                                                                                     | Apartarrayos mufa pasamuros                                              | A        |
| Verificación de medidores | Para poder comprobar, a solicitud del cliente, los medidores sin interrumpir el servicio                                       | Aparatos de medición<br>Transformadores de potencial y corriente         | B        |
| Interruptor               | Interruptor en aire, apertura con carga, fusibles de ACI., operación manual                                                    | Interruptor en aceite<br>Operación eléctrica<br>Operación por elevadores | C        |
| Desconectadores           | Desconectador en aire, tripolar, operación manual                                                                              | Cuchillas desconectoras, operación por pértiga                           | D        |
| Fusibles                  | Fusibles de alta capacidad interruptiva (ACI) operación manual por pértiga                                                     | Fusibles de baja capacidad interruptiva<br>Operación por pértiga         | E        |
| Espacio                   | Gabinete que se deja libre para futura ampliación o para permitir una adecuada separación de los transformadores               | Especificar el equipo                                                    | F        |
| Transformador             | Trifásico, enfriamiento por aceite, 4 derivaciones de 2.5%, elevación de temperatura 55/40°C a 1 000 m.s.n.m. ductos laterales | Tipo seco Contactos para señales Ventilación forzada                     | T        |

Tabla 2.78 Dimensiones de los gabinetes y transformadores

| Gabinete            | Dimensiones en centímetros |          |         |             |         |         |
|---------------------|----------------------------|----------|---------|-------------|---------|---------|
|                     | 2.4 a 15 kV                |          |         | Hasta 25 kV |         |         |
|                     | A alto                     | B ancho  | C fondo | A alto      | B ancho | C fondo |
| A                   | 240                        | 110      | 120     | 260         | 260     | 200     |
| B                   | 240                        | 150      | 120     | 260         | 150     | 200     |
| C                   | 240                        | 130      | 120     | 260         | 150     | 200     |
| D                   | 240                        | 110      | 120     | 260         | 150     | 200     |
| E                   | 240                        | 110      | 120     | 260         | 150     | 200     |
| F                   | 240                        | Variable | 120     | 260         | 150     | 200     |
| Transformadores     |                            |          |         |             |         |         |
| 45-112.5 kVA máximo | 150                        | 145      | 145     | 200         | 150     | 170     |
| 150-500 kVA máximo  | 170                        | 160      | 225     | 200         | 170     | 240     |
| 750-1000 kVA máximo | 180                        | 180      | 260     | 200         | 190     | 260     |

Tabla 2.79 Características eléctricas principales de las subestaciones compactas

| Transformador |      |     | Interruptor |             | Barras |
|---------------|------|-----|-------------|-------------|--------|
| kVA           | kV   | Amp | MVA         | Amp Fusible | Amp    |
| 50            | 2.4  | 13  | 100         | 25          |        |
|               | 4.16 | 11  | 100         | 25          |        |
|               | 6    | 5   | 150         | 10          | 400    |
|               | 13.2 | 2   | 150         | 6           |        |
|               | 23   | 1   | 1000        | 4           |        |
| 75            | 2.4  | 18  | 100         | 40          |        |
|               | 4.16 | 10  | 100         | 25          |        |
|               | 6    | 7   | 150         | 16          | 400    |
|               | 13.2 | 3   | 150         | 6           |        |
|               | 23   | 2   | 1 000       | 4           |        |
| 112.5         | 2.4  | 27  | 100         | 63          |        |
|               | 4.16 | 16  | 100         | 40          |        |
|               | 6    | 11  | 150         | 25          | 400    |
|               | 13.2 | 5   | 150         | 10          |        |
|               | 23   | 3   | 1 000       | 6           |        |
|               | 2.4  | 36  | 100         | 63          |        |
|               | 4.16 | 21  | 100         | 40          |        |
| 150           | 6    | 15  | 150         | 40          | 400    |
|               | 13.2 | 7   | 150         | 16          |        |
|               | 23   | 4   | 1 000       | 10          |        |
| 225           | 2.4  | 54  | 100         | 100         |        |
|               | 4.16 | 31  | 100         | 63          |        |
|               | 6    | 22  | 150         | 40          | 400    |
|               | 13.2 | 10  | 150         | 25          |        |
|               | 23   | 6   | 1 000       | 16          |        |
| 300           | 2.4  | 72  | 100         | 100         |        |
|               | 4.16 | 42  | 100         | 100         |        |
|               | 6    | 29  | 150         | 63          | 600    |
|               | 13.2 | 13  | 150         | 25          |        |
|               | 23   | 8   | 1 000       | 16          |        |
| 500           | 6    | 48  | 150         | 100         |        |
|               | 13.2 | 22  | 150         | 40          | 600    |
|               | 23   | 13  | 1 000       | 25          |        |
| 750           | 6    | 72  | 150         | 100         |        |
|               | 13.2 | 33  | 150         | 63          | 600    |
|               | 23   | 19  | 1 000       | 40          |        |
| 1 000         | 6    | 96  | 150         | 160         |        |
|               | 13.2 | 44  | 150         | 100         | 600    |
|               | 23   | 25  | 1 000       | 63          |        |

Tabla 2.80 Espacios mínimos necesarios ocupados por diferentes combinaciones de equipo en cm

| Equipo                                                          | Tamaño | Capacidades máximas |          | Espacios frontales |            |         |
|-----------------------------------------------------------------|--------|---------------------|----------|--------------------|------------|---------|
|                                                                 |        | 220 V               | 480 V    | Ancho cm           | Espacio cm | Alto cm |
| Interruptor<br>T.M.                                             |        | 100A                | 100A     | 55                 | 1          | 32      |
|                                                                 |        | 225A                | 225A     | 55                 | 2          | 64      |
|                                                                 | x      | 400A                | 400A     | 55                 | 2          | 64      |
|                                                                 | x      | 600A                | 600A     | 55                 | 2          | 64      |
|                                                                 | x      | 800A                | 800A     | 55                 | 2          | 64      |
|                                                                 | x      | 1 000A              | 1000A    | 55                 | 2          | 64      |
| Combinación<br>Tensión<br>Completa<br>Arrancador<br>Interruptor | 1      | 7 ½ h.p.            | 10 h.p.  | 55                 | 1          | 32      |
|                                                                 | 2      | 15 h.p.             | 25 h.p.  | 55                 | 1          | 32      |
|                                                                 | 3      | 30 h.p.             | 50 h.p.  | 55                 | 2          | 64      |
|                                                                 | 4      | 50 h.p.             | 100 h.p. | 55                 | 3          | 96      |
|                                                                 | 5x     | 100 h.p.            | 200 h.p. | 55                 | 4          | 128     |
| Combinación<br>Reversible<br>Arrancador<br>Interruptor          | 1      | 7 ½ h.p.            | 10 h.p.  | 55                 | 2          | 64      |
|                                                                 | 2      | 15h.p.              | 25 h.p.  | 55                 | 3          | 96      |
|                                                                 | 3      | 30 h.p.             | 50 h.p.  | 55                 | 4          | 128     |
|                                                                 | 4      | 50 h.p.             | 100 h.p. | 55                 | 4          | 128     |
|                                                                 | 5x     | 100 h.p.            | 200 h.p. | 55                 | 6          | 192     |
| Combinación<br>Tensión<br>Reducida<br>Arrancador<br>Interruptor | 2X     | 15 h.p.             | 25 h.p.  | 55                 | 4          | 128     |
|                                                                 | 3X     | 30 h.p.             | 50 h.p.  | 55                 | 5          | 160     |
|                                                                 | 4X     | 50 h.p.             | 100 h.p. | 55                 | 5          | 192     |
|                                                                 | 5X     | 100 h.p.            | 200 h.p. | 55                 | 6          | 192     |

Tabla 2.81 Corrientes y capacidades máximas para arrancadores utilizados en cm, según designación NEMA

| Tamaño Nema | Amperes 8 horas | h.p.. máx. Motores trifásicos |       |
|-------------|-----------------|-------------------------------|-------|
|             |                 | 220 v                         | 460 v |
| 00          |                 | 1 ½                           | 2     |
| 0           | 15              | 3                             | 5     |
| 1           | 25              | 7 ½                           | 10    |
| 2           | 50              | 15                            | 25    |
| 3           | 100             | 30                            | 50    |
| 4           | 150             | 50                            | 100   |
| 5           | 300             | 100                           | 200   |

NOTA: Aplica principalmente para motores de una sola velocidad tipo jaula de ardilla y arranque a tensión completa.

Tabla 2.82 Tamaños combinados de interruptores y arrancadores para motores trifásicos, empleados

| Capacidad máxima |     | Corriente normal en amperes | Interruptor en amperes | Arrancador tamaño | Conductor TW (AWG o MCM) |
|------------------|-----|-----------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------|
| h.p.             | V   |                             |                        |                   |                          |
| 1/4              | 220 | 1                           | 15                     | 00                | 14                       |
| 1/2              | 220 | 2                           | 15                     | 00                | 14                       |
| 3/4              | 220 | 2.8                         | 15                     | 00                | 14                       |
| 1                | 220 | 3.5                         | 15                     | 00                | 14                       |
|                  | 480 | 1.8                         | 15                     | 00                | 14                       |
| 1 1/2            | 220 | 5                           | 15                     | 00                | 14                       |
|                  | 460 | 2.5                         | 15                     | 00                | 14                       |
| 2                | 220 | 6.5                         | 20                     | 00                | 14                       |
|                  | 480 | 3.3                         | 15                     | 00                | 14                       |
| 3                | 220 | 9                           | 30                     | 0                 | 14                       |
|                  | 480 | 4.5                         | 15                     | 0                 | 14                       |
| 5                | 220 | 15                          | 30                     | 1                 | 12                       |
|                  | 480 | 7.5                         | 20                     | 0                 | 14                       |
| 7 1/2            | 220 | 22                          | 50                     | 1                 | 10                       |
|                  | 480 | 11                          | 20                     | 1                 | 14                       |
| 10               | 220 | 27                          | 50                     | 2                 | 10                       |
|                  | 480 | 14                          | 30                     | 1                 | 12                       |
| 15               | 220 | 40                          | 70                     | 2                 | 8                        |
|                  | 480 | 20                          | 30                     | 2                 | 10                       |
| 20               | 220 | 52                          | 100                    | 3                 | 6                        |
|                  | 480 | 26                          | 50                     | 2                 | 8                        |
| 25               | 220 | 64                          | 100                    | 3                 | 4                        |
|                  | 480 | 32                          | 50                     | 2                 | 8                        |
| 30               | 220 | 78                          | 125                    | 3                 | 2                        |
|                  | 480 | 39                          | 70                     | 3                 | 8                        |
| 40               | 220 | 104                         | 200                    | 4                 | 0                        |
|                  | 480 | 52                          | 100                    | 3                 | 6                        |
| 50               | 220 | 125                         | 200                    | 4                 | 0                        |
|                  | 480 | 63                          | 100                    | 3                 | 4                        |
| 60               | 220 | 150                         | 225                    | 5                 | 3/0                      |
|                  | 480 | 75                          | 125                    | 4                 | 2                        |
| 75               | 220 | 185                         | 300                    | 5                 | 4/0                      |
|                  | 480 | 93                          | 150                    | 4                 | 2                        |
| 100              | 220 | 246                         | 400                    | 5                 | 300                      |
|                  | 480 | 123                         | 200                    | 4                 | 0                        |
| 125              | 220 | 310                         | 400                    |                   |                          |
|                  | 480 | 155                         | 225                    | 5                 | 3/0                      |
| 150              | 220 | 360                         | 600                    |                   |                          |
|                  | 480 | 180                         | 300                    | 5                 | 4/0                      |
| 200              | 220 | 480                         | 800                    |                   |                          |
|                  | 480 | 240                         | 400                    | 5                 | 300                      |



Tabla 2.83 Datos de aplicación de interruptores electromagnéticos

| Tensión en C.A. | Rango de corrientes de activación (dis-paro) | Capacidad interrupti-va simétrica amperes | Corriente máxima de corto circuito en la que el cortacircuitos puede ser aplicado cuando se suministre con tiempo diferido corto |
|-----------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 481 a 600       | 50-800                                       | 22 000                                    | 22 000                                                                                                                           |
|                 | 50-1 600                                     | 42 000                                    | 42 000                                                                                                                           |
|                 | 1 000-2 000                                  | 42 000                                    | 42 000                                                                                                                           |
|                 | 1 200-3 200                                  | 50 000                                    | 50 000                                                                                                                           |
|                 | 1 200-3 200                                  | 65 000                                    | 65 000                                                                                                                           |
| 481 a 480       | 50-800                                       | 30 000                                    | 30 000                                                                                                                           |
|                 | 50-1600                                      | 50 000                                    | 50 000                                                                                                                           |
|                 | 1 000-2 000                                  | 50 000                                    | 50 000                                                                                                                           |
|                 | 1 200-3 200                                  | 50 000                                    | 50 000                                                                                                                           |
|                 | 1 200-3 200                                  | 65 000                                    | 65 000                                                                                                                           |
| 240 o menos     | 50-800                                       | 42 000                                    | 30 000                                                                                                                           |
|                 | 50-1 600                                     | 65 000                                    | 50 000                                                                                                                           |
|                 | 1 000-2 000                                  | 65 000                                    | 50 000                                                                                                                           |
|                 | 1 200-3 200                                  | 85 000                                    | 50 000                                                                                                                           |
|                 | 1 200-3 200                                  |                                           | 85 000                                                                                                                           |

Tabla 2.84 Características de interruptores para tableros de alumbrado y distribución

| No. de | Rango de    | Capacidad interruptiva de corto circuito amp.-rnc simétricos. |         |      |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
|--------|-------------|---------------------------------------------------------------|---------|------|-----|---------|------|-----|--------|-----|-----|-----|--|
| Polos  | Capacidades | V.c.a.                                                        |         |      |     |         |      |     | V.c.d. |     |     |     |  |
|        |             | 120                                                           | 120/240 | 240  | 277 | 480/277 | 480  | 600 | 48     | 125 | 250 | 500 |  |
| 1      | 10-70       | 10k                                                           | 10k     |      |     |         |      |     | 5k     |     |     |     |  |
| 2      | 10-125      | 10k                                                           | 10k     |      |     |         |      |     | 5k     |     |     |     |  |
| 3      | 10-100      | 10k                                                           | 10k     | 10k  |     |         |      |     | 5k     |     |     |     |  |
| 1      | 15-30       | 10k                                                           |         |      |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 2      | 15-60       | 10k                                                           | 10k     |      |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 2      | 100-225     | 10k                                                           | 10k     |      |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 3      | 100-225     | 10k                                                           | 10k     | 10k  |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 2      | 250-400     | 25k                                                           | 25k     | 25k  |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 3      | 250-400     | 25k                                                           | 25k     | 25k  |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 1      | 15-30       | 18k                                                           | 14k     | 14k  | 14k |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 1      | 15-100      | 10k                                                           | 10k     |      |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 2      | 15-100      | 10k                                                           | 10k     | 10k  |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 3      | 15-100      | 10k                                                           | 10k     | 10k  |     |         |      |     |        |     |     |     |  |
| 1      | 15-100      | 25k                                                           | 25k     | 18k  | 18k | 18k     |      |     |        | 10k |     |     |  |
| 2      | 15-100      | 25k                                                           | 25k     | 25k  |     | 18k     | 18k  |     |        |     | 10k |     |  |
| 3      | 15-100      | 25k                                                           | 25k     | 25k  |     | 18k     | 18k  |     |        |     | 10k |     |  |
| 2      | 15-100      | 25k                                                           | 25k     | 25k  |     | 18k     | 18k  | 14k |        | 10k |     |     |  |
| 3      | 15-100      | 25k                                                           | 25k     | 25k  |     | 18k     | 18k  | 14k |        | 10k | 10k |     |  |
| 1      | 15-30       | 65k                                                           | 65k     | 65k  | 65k | 65k     |      |     |        | 10k |     |     |  |
| 1      | 35-100      | 65k                                                           | 65k     | 25k  | 25k | 25k     |      |     |        | 10k | 10k |     |  |
| 2, 3   | 15-100      | 65k                                                           | 65k     | 65k  |     | 25k     | 25k  | 18k |        |     |     |     |  |
| 2, 3   | 70-250      | 42k                                                           | 42k     | 42k  |     | 25k     | 25k  | 22k |        | 10k | 10k |     |  |
| 2, 3   | 70-250      | 65k                                                           | 65k     | 65k  |     | 35k     | 35k  | 25k |        |     |     |     |  |
| 2, 3   | 125-400     | 42k                                                           | 42k     | 42k  |     | 30k     | 30k  | 22k |        | 10k | 10k |     |  |
| 2, 3   | 125-400     | 65k                                                           | 65k     | 65k  |     | 35k     | 35k  | 35k | 25k    |     |     |     |  |
| 2, 3   | 300-1 000   | 42k                                                           | 42k     | 42k  |     | 30k     | 30k  | 22k |        | 14k | 14k |     |  |
| 2, 3   | 300-800     | 42k                                                           | 42k     | 42k  |     | 30k     | 30k  | 22k |        | 14k | 14k |     |  |
| 2, 3   | 300-1 000   | 65k                                                           | 65k     | 65k  |     | 65k     | 65k  | 25k |        |     |     |     |  |
| 2, 3   | 300-800     | 65k                                                           | 65k     | 65k  |     | 65k     | 65k  | 25k |        | 14k | 14k |     |  |
| 2, 3   | 600-1 200   | 100k                                                          | 100k    | 100k |     | 50k     | 50k  | 25k |        |     |     |     |  |
| 2, 3   | 600-1 200   | 125k                                                          | 125k    | 125k |     | 100k    | 100k | 65k |        |     |     |     |  |
| 2, 3   | 600-2 000   | 65k                                                           |         | 65k  | 50k | 50k     | 50k  | 42k |        |     |     |     |  |

Tabla 2.85 Tensiones de operación

| Nomenclatura | Aplicación                                  |
|--------------|---------------------------------------------|
| 5            | Tensiones de 44 kV y menores                |
| 7            | Tensiones mayores de 44 kV y hasta 161 kV.  |
| 9            | Tensiones mayores de 161 kV y hasta 230 kV. |
| A            | Tensiones de 400 kV y mayores               |

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.86 Identificación por protecciones primarias para líneas y alimentadores

| Nomenclatura "ANSI" | Protección primaria        |
|---------------------|----------------------------|
| 50                  | Sobrecorriente instantánea |
| 51                  | Sobrecorriente temporizado |
| 67                  | Sobrecorriente direccional |
| 21                  | Distancia                  |
| 85                  | Comparación direccional    |
| 87L                 | Diferencial de línea       |

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.87 Identificación por Arreglo de Barras

| Nomenclatura | Aplicación                                                              |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|
| IM           | Para arreglos de interruptor y medio                                    |
| DI           | Para arreglos de doble interruptor                                      |
| PA           | Para arreglos con barra principal y auxiliar                            |
| PT           | Para arreglos con barra principal y transferencia                       |
| AN           | Para arreglos de conexión en anillo                                     |
| BS           | Para arreglo de barra sencilla                                          |
| AD           | Para arreglos de alimentadores de distribución                          |
| TB           | Para arreglos de tres barras: barra 1, barra 2 y barra de transferencia |

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.88 Identificación por equipo de Monitoreo y Medición

| Nomenclatura | Aplicación                |
|--------------|---------------------------|
| RD           | Registrador de disturbios |
| MM           | Medidores multifunción    |

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.89 Identificación por tipo de construcción

| Nomenclatura | Aplicación                  |
|--------------|-----------------------------|
| IN           | Integral                    |
| ID           | Integrada para distribución |
| SX           | Simplex                     |
| DX           | Duplex                      |

Fuente: CFE V6700-62

Tabla 2.90 Límites de elevación de temperatura

| Partes del TEEF                               | Elevación de temperatura (°C)                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aparatos instalados en el TEEF                | De acuerdo a las especificaciones aplicadas a estos aparatos                                                                                                                                                                                                                       |
| Terminales para conductores aislados externos | 70 <sup>(1)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Barras colectoras y conductores de Cu y Al    | Limitadas por esfuerzos mecánicos de material conductor.<br>Efectos posibles sobre equipo adyacente<br>Límite de temperatura permisible del material aislante en contacto con el conductor<br>El efecto de la temperatura de los conductores sobre los aparatos conectados a ellos |
| Medios de operación manual:                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| de metal                                      | 15 <sup>(2)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| de material aislante                          | 25                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Gabinetes y tapas de acceso externo:          |                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Superficies metálicas                         | 30 <sup>(3)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Superficies aislantes                         | 40                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

NOTA:

1) El límite de 70°C de elevación de temperatura es un valor basado en la prueba convencional. Un TEEF que es usado o probado bajo sus propias condiciones de servicio puede tener conexiones en las cuales el tipo, la naturaleza y disposición de ellas no sean iguales a las que han sido adoptadas para la prueba y resultar probablemente un aumento de temperatura diferente en las terminales el cual puede aceptarse así

2) Los medios de operación manual dentro de un TEEF que sean accesibles después de haber abierto éste, por ejemplo: manijas operadas esporádicamente, pueden tener elevaciones de temperatura mayores

3) A menos que se especifique en otra forma, en los casos de tapas y gabinetes accesibles pero que no necesariamente se tocan durante las operaciones normales, es permitido un aumento de 10°C sobre el límite de elevación de temperatura

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.91 Factores de corrección por altitud

| Tipos de tableros         | Altitud m.s.n.m. | Factores de corrección |           |
|---------------------------|------------------|------------------------|-----------|
|                           |                  | Tensión                | Corriente |
| Tableros de baja tensión  | 2000 (o menos)   | 1.00                   | 1.00      |
|                           | 2 600            | 0.95                   | 0.99      |
|                           | 3 900            | 0.80                   | 0.96      |
| Tableros de media tensión | 1 000            | 1.00                   | 1.00      |
|                           | 1 500            | 0.95                   | 0.99      |
|                           | 3 000            | 0.80                   | 0.96      |

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.92 Descripción de diferentes tipos de cajas y gabinetes designación NOM

| Tipo de caja o gabinete | Condiciones externas de uso                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo 1                  | Usos Generales.- Diseñado para uso en interiores, en áreas donde no existen condiciones especiales de servicio y para proteger el contacto accidental de personas con el equipo protegido.                                                                |
| Tipo 2                  | A prueba de goteo.- Diseñado para uso en interiores, proteger el equipo contra goteo de líquidos no corrosivos y contra la salpicadura de lodos.                                                                                                          |
| Tipo 3                  | Para servicio intemperie.- Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierran contra tolveneras y aire húmedo. Gabinete metálico resistente a la corrosión.                                                                               |
| Tipo 3R o 3LL           | A prueba de lluvia.- Diseñado para uso en exteriores y proteger el equipo que encierran contra la lluvia. Gabinete metálico resistente a la corrosión.                                                                                                    |
| Tipo 4                  | Hermético al agua y al polvo.- Diseñado para equipo expuesto directamente a severas condensaciones externas, salpicaduras de agua o chorro de manguera.                                                                                                   |
| Tipo 4X                 | Hermético al agua, polvo y resistente a la corrosión.- Debe cumplir con los mismos requisitos que se indican para gabinetes tipo 4, y además ser resistentes a la corrosión (con acabado especial para resistir corrosión o gabinete hecho de poliéster). |
| Tipo 5                  | Hermético al polvo.- Este tipo de gabinetes será remplazado por el tipo 12 (según NEMA).                                                                                                                                                                  |
| Tipo 6                  | Sumergible, hermético al agua y al polvo.- Diseñado para uso en interiores y exteriores, en caso de inmersión ocasional, caída de chorros directos de agua, polvos o pelusas.                                                                             |
| Tipo 7                  | A prueba de gases explosivos (equipo encerrado en aire).- Diseñado para uso en atmósferas peligrosas clase 1 grupos B, C o D, y soportar una explosión interna sin causar peligros externos.                                                              |
| Tipo 8                  | A prueba de gases explosivos (equipo encerrado en aceite).- Diseñado por el mismo fin que el Tipo 7 pero su equipo trabaja sumergido en aceite y evitar cualquier posibilidad de chispas que se produzcan, arriba del aceite.                             |
| Tipo 9                  | A prueba de polvos explosivos (equipo encerrado en aire).- Diseñado para uso en atmósferas peligrosas clase II grupos E, F y G, y evitar el ingreso de cantidades peligrosas de polvos explosivos.                                                        |
| Tipo 10                 | Para uso en minas.- Diseñado para uso en minas, cumpliendo los requisitos para atmósferas que contienen mezclas de metano y aire. Gabinete a prueba de explosión con juntas y seguros adecuados.                                                          |
| Tipo 11                 | Resistente a la corrosión (Equipo encerrado en aceite).- Diseñado para proteger el equipo contra condensaciones externas de líquidos corrosivos, humos y gases corrosivos. Gabinete resistente a la corrosión.                                            |
| Tipo 12                 | Uso industrial, hermético al polvo y al goteo.- Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo contra fibras, insectos, pelusas, polvos, salpicaduras ligeras, goteos y condensaciones externas de líquidos.                                        |
| Tipo 13                 | Uso industrial, hermético al aceite y al polvo.- Diseñado para uso en interiores y proteger el equipo contra aceites, líquidos refrigerantes y polvos. Principalmente en gabinetes de dispositivos piloto para máquinas herramienta.                      |

Fuente: NMX-J-068.

Tabla 2.93 Equivalencias entre gabinetes

| Designación | Observaciones                                                                                                                                                           |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IPOO        | Sin protección                                                                                                                                                          |
| IP 02       | Sin protección contra contacto y cuerpos extraños y protección contra gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical                                       |
| IP 11       | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua verticales                                                     |
| IP 12       | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical                  |
| IP 13       | Protección contra contacto accidental de la mano, sólidos de diámetros mayores de 50 mm y, gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical                  |
| IP 21       | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua verticales.                                    |
| IP 22       | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua con 15° de inclinación respecto a la vertical. |
| IP 23       | Protección contra contacto de los dedos a partes vivas o móviles, sólidos de diámetros mayores de 12 mm y, gotas de agua con 60° de inclinación respecto a la vertical  |
| IP 44       | Protección contra contacto con herramientas, contra sólidos de diámetros mayores de 1 mm y contra salpicaduras de agua en todas direcciones<br>Totalmente Cerrado       |
| IP 54       | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra salpicaduras de agua en todas direcciones<br>A prueba de Chapoteo                    |
| IP 55       | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra chorro de agua en todas direcciones<br>Uso Lavadora                                  |
| IP 56       | Protección completa contra contacto, contra acumulación de polvos nocivos y contra oleaje fuerte                                                                        |
| IP 65       | Protección completa contra contacto, protección completa contra polvos y contra chorro de agua en todas direcciones                                                     |

Fuente:NOM-16-ENER

## 2.10.1. TENSIÓN Y AMPACIDAD A TEMPERATURA NOMINAL

### 2.10.1.1. Conductores mayores de 600 V

Usos permitidos. Se permitirán los conductores aéreos de más de 600 volts en exteriores, sólo para sistemas de más de 600 volts, como a continuación se indica:

- En exteriores
- Para conductores de acometida, alimentadores y circuitos derivados

En la Tabla 2.94 se muestran las características y aplicaciones de los conductores de media tensión de 5 hasta 35 kV.

### 2.10.1.2. Conductores para sistema de tierras

Se utiliza exclusivamente cobre suave en la red de tierras, así como en los conductores de conexión de ésta con equipos a partes aterrizadas. El rango de utilización es muy amplio y depende de la corriente de corto circuito a tierra de que se disponga.

Cuando se requiera de un conductor para aterrizajar equipos o partes en movimiento, tales como grúas viajeras o puertas de subestaciones que necesiten mucha flexibilidad, se usa la trenza plana de cobre estañado.

Tiene aplicación también en la conexión del polo negativo en bancos de baterías y plantas de emergencia para la selección de conductores en las aplicaciones particulares para un proyecto, consultar la información comercial de fabricantes, en el cual se encuentra una descripción del conductor, aisla-

miento y sus características físicas y parámetros eléctricos, formas constructivas, aplicaciones, etc.

### 2.10.1.3. Capacidad de conducción

La capacidad de conducción de conductores aislados de 0 a 2000 V, ya sea en canalización o en aire libre se indica en la Tabla 2.95, Tabla 2.96, Tabla 2.97, Tabla 2.98, Tabla 2.99, Tabla 2.100, Tabla 2.101 y Tabla 2.102.

Para la capacidad de conducción de conductores aislados de 2 001 V a 35 000 V, en aire se indican en la Tabla 2.103 a Tabla 2.110.

La capacidad de conducción de conductores aislados de 2 001 V a 35 000 V, directamente enterrados se indica en la Tabla 2.111 a Tabla 2.119.

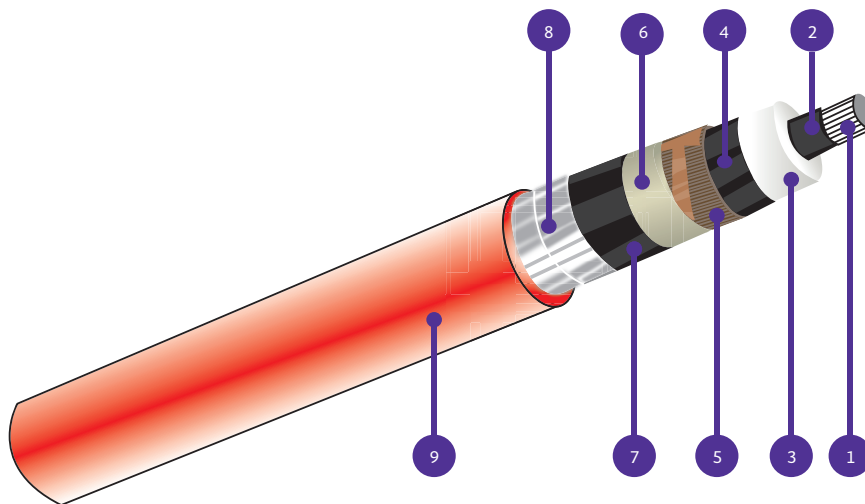
## 2.10.2. NIVEL DE AISLAMIENTO

Para la selección del aislamiento se combinan las máximas temperaturas de operación, con las cualidades ambientales y/o de propagación a la flama. Existen tres clases de aislamientos para usarse en cables de energía.

### ***Clase 1 nivel 100 por ciento***

Quedarán incluidos en esta clasificación los conductores que se usen en sistemas protegidos con relevadores que liberen fallas a tierra lo más rápido posible, en un tiempo no mayor a un minuto. Este nivel de aislamiento es aplicable a la mayoría de los sistemas con neutro a tierra y puede también aplicarse a otros sistemas donde la razón entre la reactancia de secuencia cero y de secuencia positiva ( $X_0/X_1$ ) no esté en el intervalo de -1 a -40 y que cumplan la condición de liberación de falla, ya que en los sistemas incluidos en el intervalo descrito pueden

Ilustración 2.33 Características constructivas de un cable de media tensión



1. CONDUCTOR
2. PANTALLA SEMICONDUCTORA INTERNA
3. AISLAMIENTO
4. PANTALLA SEMICONDUCTORA EXTERNA
5. PANTALLA METALICA
6. PROTECCIÓN CONTRA EL AGUA (SÓLO CABLES TIPO - OL Y - 20L)
7. CUBIERTA INTERIOR (SÓLO CABLES ARMADOS)
8. ARMADURA (SÓLO PARA CABLES ARMADOS)
9. CUBIERTA EXTERIOR

Ilustración 2.34 Conductores de interruptor principal





encontrarse valores de tensión excesivamente altos en condiciones de fallas a tierra.

### ***Clase 2 nivel 133 por ciento***

Anteriormente, en esta categoría se agrupaban los sistemas con neutro aislado. En la actualidad, se incluyen los conductores destinados a instalaciones en donde las condiciones de tiempo de operación de las protecciones no cumplen con los requisitos del nivel 100 por ciento, pero que, en cualquier caso, se libera la falla en no más de una hora.

El nivel 133 por ciento se podrá usar también en aquellas instalaciones donde se desee un espesor del aislamiento mayor al 100 por ciento. Por ejemplo, conductores submarinos, en que los esfuerzos mecánicos propios de la instalación y las características de operación requieren un nivel de aislamiento mayor.

### ***Clase 3 nivel 173 por ciento***

Los conductores de esta categoría deberán aplicarse en sistemas en los que el tiempo para liberar una falla no está definido. También se recomienda el uso de conductores de este nivel en sistemas con problemas de resonancia, en los que se pueden presentar sobretensiones de gran magnitud.

## **2.10.3. MATERIALES**

Los materiales más usados como conductores eléctricos son el cobre y el aluminio, el primero es superior en características eléctricas y mecánicas (la conductividad del aluminio es aproximadamente el 60% de la del cobre y su resistencia a la tensión mecánica el 40%), las características de bajo peso

del aluminio han dado lugar a un amplio uso de este metal en la fabricación de cables aislados y desnudos. En la Tabla 2.120 se comparan en forma general las propiedades principales de los metales usados en la manufactura de los conductores.

En el cobre usado en conductores eléctricos se distinguen tres temple o grados de suavidad del metal: suave o recocido, semiduro y duro; con propiedades algo diferentes, siendo el cobre suave el de mayor conductividad eléctrica y el cobre duro el de mayor resistencia a la tensión mecánica.

El cobre suave tiene las aplicaciones más generales, ya que su uso se extiende a cualquier conductor aislado o no, en el cual sea de primordial importancia la alta conductividad eléctrica y la flexibilidad.

La principal ventaja del aluminio sobre el cobre es su peso menor (densidad 2.70 g/cm<sup>3</sup> contra 8.89 g/cm<sup>3</sup> del cobre).

En la Tabla 2.121 se comparan algunas de las características más importantes en conductores fabricados con cobre y aluminio.

### **2.10.3.1. Flexibilidad**

El grado de flexibilidad de un conductor, depende del número de alambres del mismo. Por supuesto que las características de flexibilidad del aislamiento deben ser compatibles con los demás elementos del cable. Por lo tanto, los conceptos que se mencionan a continuación son aplicables al cable en general.

La flexibilidad de un cable es una de las características más difíciles de cuantificar, de hecho, es

uno de los conceptos comúnmente usados para describir la construcción de un cable; no existe a la fecha ningún método de prueba para medir el grado o magnitud de la flexibilidad.

Sin embargo, la mejor base para evaluar la flexibilidad es a través de las ventajas a que da lugar en los cables de energía, la cual en última instancia, es una manera de apreciarla. A continuación se enuncian las ventajas de la flexibilidad:

- Mayor facilidad para sacar o meter el cable en el carrete, lo que minimiza la probabilidad de daño al momento de instalar
- Mayor facilidad para colocar en posición en la instalación, especialmente en lugares estrechos
- La construcción del cable que permite dobleces y cambio de dirección en general, sin menoscabo de la integridad del mismo, conduce evidentemente a una instalación confiable
- El manejo sencillo de un material contribuye a que los instaladores trabajen con más rapidez y menos esfuerzo, evitando que pongan en práctica métodos que resultarían perjudiciales, como calentar el conductor para permitir dobleces, etcétera

#### 2.10.3.2. Forma

Las formas de conductores de uso más general en cables aislados de media tensión son:

- a) Redonda
- b) Sectorial

Un conductor redondo es un alambre o cable cuya sección transversal es sustancialmente circular. Se utiliza en cables monoconductores como en cables multiconductores con cualquier tipo de aislamien-

to. Los conductores de calibres pequeños (8 AWG y menores) suelen ser alambres sólidos, mientras que los calibres mayores generalmente son cables.

Cuando los alambres son de mayor diámetro, el torcido de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor de un núcleo central de 1 o más alambres. El conductor resultante recibe el nombre de conductor concéntrico.

Un conductor sectorial es un conductor formado por un cable cuya sección transversal es sustancialmente un sector de círculo. Se utilizan principalmente en cables de energía trifásicos, en calibres superiores a 1/0 AWG. En éstos los conductores sectoriales implican una reducción en la cantidad de rellenos y el diámetro sobre la reunión de las tres almas, permitiendo reducciones sustanciales en el plomo y revestimientos de protección.

Comparando los cables con conductores sectoriales, con los equivalentes de conductores redondos, encontramos que los primeros presentan las siguientes ventajas:

- Menor diámetro
- Menor peso
- Costo más bajo

Pero tienen en cambio estas desventajas:

- Menor flexibilidad
- Mayor dificultad en la ejecución de las uniones

#### 2.10.4. RESISTENCIA ELÉCTRICA

##### 2.10.4.1. Resistencia a la humedad

Los cables de energía frecuentemente entran en contacto con humedad y el cable absorbe agua

a una velocidad que queda determinada por las temperaturas del medio ambiente, temperatura en el conductor, temperatura en el aislamiento y la permeabilidad del aislamiento y su cubierta.

#### 2.10.4.2. Rigidez dieléctrica

La rigidez dieléctrica de un material aislante es el valor de la intensidad del campo eléctrico al que hay que someterlo para que se produzca una perforación en el aislamiento. Normalmente, este valor es cercano al del gradiente de prueba y de 4 a 5 veces mayor que el gradiente de operación normal. Las unidades en que se expresa este valor por lo común es kV/mm.

#### 2.10.4.3. Pantallas eléctricas

Una definición ampliamente aceptada de la función de las pantallas es la siguiente:

Se aplican las pantallas eléctricas en los cables de energía con el fin de confinar en forma adecuada el campo eléctrico a la masa de aislamiento de los conductores.

Las pantallas usadas en el diseño de cables de energía tienen diferentes funciones. Dependiendo del material y su localización, pueden ser:

##### ***Pantalla sobre el conductor***

En circuitos con tensiones de 2 kV y mayores se utiliza la pantalla semiconductora a base de cintas o pantallas extruidas. Los materiales usados en la fabricación de estas pantallas dependen del diseño mismo del conductor: en conductores con aislamiento de papel impregnado se usan cintas de papel CB (Carbón Black), en conductores con aislamiento sólido se utilizan pantallas extruidas de material compatible con el utilizado en el aislamiento.

##### ***Pantalla sobre el aislamiento***

En circuitos de 5 kV y mayores se utilizan pantallas sobre el aislamiento que a su vez se subdividen en:

- a) Pantalla semiconductora
- b) Pantalla metálica

En conjunto las funciones de las pantallas sobre el aislamiento son:

- a) Crear una distribución radial y simétrica de los esfuerzos eléctricos en la dirección de máxima resistencia del aislamiento
- b) Proveer al conductor de una capacitancia a tierra uniforme

Los conductores que se instalan en ductos o directamente enterrados por lo general pasarán por secciones de terreno húmedo y seco o ductos de características eléctricas variables. Esto da como resultado una capacitancia a tierra variable y como consecuencia, una impedancia no uniforme.

- c) Reducir el peligro de descargas eléctricas al personal o en presencia de productos inflamables

Como se explicó con anterioridad, cuando la superficie externa del aislamiento de los cables (exenta de las pantallas) no está en contacto con tierra a lo largo de la trayectoria de instalación, se puede presentar una diferencia de potencial considerable entre la cubierta del conductor y tierra.

##### ***Pantalla semiconductora sobre el aislamiento***

La pantalla semiconductora sobre el aislamiento se encuentra en contacto inmediato con éste. Está formada por un material semiconductor compatible con el material del aislamiento. En adición a las

funciones descritas, esta pantalla asegura el contacto íntimo con el aislamiento, aun en el caso de movimiento de la pantalla metálica.

#### 2.10.4.4. Selección de la pantalla metálica

A continuación se presentan las características de selección de acuerdo a cada propósito de diseño:

##### ***Pantalla para propósitos electrostáticos***

Estas pantallas deben ser en general de metales no magnéticos y pueden estar constituidas de cintas, alambres o bien pueden ser cubiertas metálicas (plomo o aluminio).

Las pantallas constituidas a base de cintas o de alambres son generalmente de cobre normal, aunque pueden utilizarse en ambos casos cobre estañado, éstas últimas se utilizan donde se pudiera prever problemas graves de corrosión derivados de las condiciones de instalación. En la Tabla 2.122 se presenta el cuadro comparativo de pantallas a base de cintas con las de alambres.

##### ***Pantallas para conducir corriente de falla***

En la pantalla metálica se puede requerir una conductancia adicional para conducir corriente de falla, dependiendo de la instalación y características eléctricas del sistema, particularmente con relación al funcionamiento de dispositivos de protección por sobrecorriente, como la corriente prevista de falla de fase a tierra y la manera en que el sistema puede ser aterrizado.

##### ***Pantalla neutra***

Con las dimensiones apropiadas se puede diseñar la pantalla, para que en adición a las funciones descritas opere como neutro; por ejemplo, siste-

mas residenciales subterráneos.

#### 2.10.4.5. Aplicaciones de las pantallas

Como se mencionó anteriormente, es necesaria la pantalla sobre el conductor en cables de 2 kV y mayores, para tensiones menores no se requiere; en conductores de 5 kV y mayores se requiere de pantallas sobre el aislamiento. Esto significa que dentro de los límites de 2 kV inclusive, se puede no utilizar pantallas sobre aislamiento, de aquí que interviene una gran dosis de sentido común para considerar la aplicación de las pantallas.

Es innegable que un conductor con pantalla instalado en forma apropiada, ofrece las condiciones óptimas de seguridad y confiabilidad. Sin embargo, un conductor con pantalla es más costoso y más difícil de procurar e instalar. A continuación se resumen las recomendaciones de aplicaciones en que se deberá usar o prescindir de las pantallas.

Las pantallas sobre aislamiento deben ser consideradas para cables de energía arriba de 5000 volts, cuando exista cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Conexiones a líneas aéreas
- b) Transición a ambiente de diferente conductancia
- c) Transición de terrenos húmedos o secos
- d) Terrenos secos, de tipo desértico
- e) Conduits anegados o húmedos
- f) En donde se utilizan compuestos para facilitar el jalado de los conductores
- g) Donde fácilmente se depositen en la superficie del conductor materiales conductores tales como hollín, sales, etcétera
- h) Donde pudieran presentarse problemas de radio interferencia
- i) Donde se involucre la seguridad del personal

#### 2.10.4.6. Propiedades de las cubiertas

Cubiertas metálicas. El material normalmente usado en este tipo de cubiertas es el plomo y sus aleaciones. Otro metal que también se emplea, aunque en menor escala, es el aluminio.

Cubiertas termoplásticas. Las más usuales son fabricadas con PVC (cloruro de polivinilo) y polietileno de alta y baja densidad.

Cubiertas elastoméricas. Básicamente se utiliza el neopreno (policloropreno) y el hypalon (polietileno clorosulfonado).

Cubiertas textiles. En este tipo de cubiertas se emplea una combinación de yute impregnado en asfalto y recubierto con un baño final de cal y talco, con el fin de evitar que se adhieran las capas adyacentes.

Para definir los límites de aplicación de los materiales de las cubiertas o sus combinaciones, es necesario conocer las exigencias a que pueden quedar expuestos los cables de energía por el medio ambiente de la instalación, exigencias que se pueden dividir de la siguiente manera:

##### ***Térmicas***

La temperatura de operación en la cubierta es de vital importancia, al igual que en el de los aislamientos. Sobrepasar los límites establecidos conduce a una degradación prematura de las cubiertas.

##### ***Químicas***

Los componentes de los conductores son compuestos o mezclas químicas y su resistencia ante

ciertos elementos del medio donde se instalen son previsible y muy importantes de considerar para la selección del material de la cubierta.

##### ***Mecánicos***

Los daños mecánicos a que pueden estar sujetos los conductores de energía se deben, para cables en instalaciones fijas, a los derivados del manejo en el transporte e instalación como son: radios de curvatura pequeños, tensión excesiva, compresión, etcétera, que reducen la vida del cable completo para mayor información de este tema consulte la NOM-001-SEDE.

#### 2.10.5. AISLAMIENTOS

##### 2.10.5.1. Materiales

Dada la diversidad de tipos de aislamiento que hasta la fecha existen para cables de energía, el diseñador deberá tener presentes las características de cada uno de ellos, para su adecuada selección tanto en el aspecto técnico como en el económico. Tradicionalmente, el papel impregnado ha sido el aislamiento que por su confiabilidad y economía se empleaba en mayor escala; la aparición de nuevos aislamientos tipo seco aunado al mejoramiento de algunos ya existentes, obligan al ingeniero de proyectos a mantenerse actualizado respecto a las diferentes alternativas disponibles. La función del aislamiento es impedir el contacto del conductor con otros conductores, metales, tierra, humedad, etc., que provocarían la falla del aislamiento. Se pueden dividir en dos grupos:

##### ***De papel impregnado***

Emplea un papel especial obtenido de pulpa de madera, con celulosa de fibra larga. El cable aislado

con papel sin humedad se impregna con una sustancia para mejorar las características del aislante.

Las sustancias más usuales son los compuestos que se listan a continuación, y la que se elija dependerá de la tensión y de la instalación del cable.

- a) Aceite viscoso
- b) Aceite viscoso con resinas refinadas
- c) Aceite viscoso con polímeros de hidrocarburos
- d) Aceite de baja viscosidad
- e) Parafinas microcristalinas del petróleo

#### ***Aislamientos de tipo seco***

A excepción del hule natural (ya en desuso), los aislamientos secos son compuestos cuya resina base se obtiene de la polimerización de determinados hidrocarburos.

- a) Termoplásticos: Son aquellos que, al calentarse, su plasticidad permite conformarlos a voluntad, recuperando sus propiedades iniciales al enfriarse, pero manteniendo la forma que se les imprimió
- b) Termofijos: Después de un proceso inicial similar al anterior, los subsecuentes calentamientos no los reblandecen

A continuación se describen las características de algunos de los aislamientos de tipo seco.

- a) Sintenax: El PVC (Cloruro de polivinilo) para aislamiento de cables de alta tensión,

ha adquirido una importancia especial, gracias a sus ventajas sobre los plásticos hasta ahora conocidos. La alta rigidez dieléctrica y su resistencia a la ionización (efecto corona) permiten su operación en cables de energía de hasta 23 kV

- b) El hule etileno propileno (EP) y el polietileno de cadena cruzada (XLP) son los principales materiales empleados en la actualidad para cables de energía, con aislamiento extruido, en media tensión

### **2.10.6. TAMAÑO O DESIGNACIÓN**

#### **2.10.6.1. Escala AWG**

La escala más usada para alambres destinados a usos eléctricos es la “American Wire Gage” (AWG), misma que ha sido ya adoptada en México.

#### **2.10.6.2. Escala milimétrica IEC**

La escala de la “International Electrotechnical Commission” es la más usada en la actualidad, la escala consiste en proporcionar la medida directa de las áreas transversales de los calibres, en milímetros cuadrados.

### **2.10.7. APLICACIÓN**

#### **2.10.7.1. Conductores para 600 V**

En la Tabla 2.123 se muestran las características y aplicaciones de los conductores para baja tensión.

Tabla 2.94 Aislamientos y usos, para cables de energía

| Tipo o nombre                                                                                       | Descripción                                                                                                                                                                              | Aplicaciones                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cables SINTENAX unipolares 6, 15 y 25 kV.                                                           | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor (15 y 25 kV) aislamiento SINTENAX, pantalla sobre el aislamiento (15 y 25 kV) y cubierta exterior de PVC.                     | Circuitos industriales de distribución primaria, acometidas y circuitos auxiliares.                       |
| Cables de energía VULCANEL EP o XLP 5, 15 y 35 kV.                                                  | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, pantalla sobre el aislamiento y cubierta exterior de PVC.                                           | Circuitos trifásicos de distribución.                                                                     |
| Cables de energía VULCANEL EP o XLP triplex 5, 15 y 35 kV.                                          | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, pantalla sobre el aislamiento y cubierta exterior de PVC.                                           | Circuitos trifásicos de distribución.                                                                     |
| Cables VULCANEL EP o XLP con plomo 5 y 15 KV para refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.   | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, pantalla semiconductor sobre aislamiento, forro de plomo y cubierta exterior de PVC.                | Circuitos de distribución de potencia en refinerías de petróleo y plantas petroquímicas.                  |
| Cables de energía VULCANEL XLP para alumbrado de pistas de aeropuerto 5 kV.                         | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor aislamiento de XLP y cubierta exterior de PVC.                                                                                | Conexión de lámparas de alumbrado en pistas de aeropuertos.                                               |
| Cables tripolares tipo 6PT con papel impregnado y forro de plomo para 6 kV.                         | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de papel impregnado, cintura, forro de plomo y cubierta exterior termoplástica.                                  | Distribución de energía eléctrica en sistemas de 6 kV.                                                    |
| Cables monopolares 23 PT aislados con papel impregnado y con forro de plomo para 23 kV.             | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de papel impregnado, pantalla semiconductor sobre aislamiento, forro de plomo y cubierta exterior termoplástica. | Distribución de energía eléctrica en sistemas de 23 kV.                                                   |
| Cables de energía VULCANEL 23TC.                                                                    | Conductor de cobre, pantalla semiconductor sobre conductor aislamiento de KLP, pantalla sobre el aislamiento, cinta separadora y cubierta exterior termoplástica.                        | Acometidas aero-subterráneas en 23 kV.                                                                    |
| Cables de energía VULCANEL EP o XLP, tipo DS para 15, 25 y 35 kV.                                   | Conductor de aluminio, pantalla semiconductor sobre conductor aislamiento de EP o XLP, pantalla sobre el aislamiento y cubierta exterior de PVC.                                         | Circuitos trifásicos de distribución.                                                                     |
| Cables de energía VULCANEL EP o XLP tipo DRS (distribución residencial subterránea) 15, 25 y 35 kV. | Conductor de aluminio, pantalla semiconductor sobre conductor, aislamiento de EP o XLP, cubierta semiconductor sobre el aislamiento y neutro concéntrico de cobre estañado.              | Distribución de energía eléctrica en circuitos primarios monofásicos subterráneos en zonas residenciales. |



Tabla 2.95 Capacidad de conducción de corrientes en amperes de conductores aislados de 0 a 2 000 V, 60°C a 90°C en canalización o directamente enterrados para una temperatura ambiente de 30°C

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) | Temperaturas máximas de operación |                                                 |                                                                |                                     |                                                               |                                                   |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
|                                                          | 60 °C                             | 75 °C                                           | 90 °C                                                          | 60 °C                               | 75 °C                                                         | 90 °C                                             |
|                                                          | Tipos TW*, UF*                    | Tipos: RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, USE* | Tipos: SA, SIS, FEO*, FEPS*, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, XHHW-2 | Tipos: TW*, UF*                     | Tipos: RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, THWW*, XHHW*, USE* | Tipos: SA, SIS, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, XHHW-2 |
|                                                          | <b>Cobre (Cu)</b>                 |                                                 |                                                                | <b>Aluminio recubierto de cobre</b> |                                                               |                                                   |
| 0.8235 (18)                                              |                                   |                                                 | 14                                                             |                                     |                                                               |                                                   |
| 1.307 (16)                                               |                                   |                                                 | 18                                                             |                                     |                                                               |                                                   |
| 2.082 (14)                                               | 20                                | 20                                              | 25                                                             |                                     |                                                               |                                                   |
| 3.307 (12)                                               | 25                                | 25                                              | 30                                                             | 20                                  | 20                                                            | 25                                                |
| 5.260 (10)                                               | 30                                | 35                                              | 35                                                             | 25                                  | 30                                                            | 35                                                |
| 8.367 (8)                                                | 40                                | 50                                              | 50                                                             | 30                                  | 40                                                            | 45                                                |
| 13.13 (6)                                                | 55                                | 65                                              | 65                                                             | 40                                  | 50                                                            | 60                                                |
| 21.15 (4)                                                | 70                                | 85                                              | 85                                                             | 55                                  | 65                                                            | 75                                                |
| 33.62 (2)                                                | 95                                | 115                                             | 115                                                            | 75                                  | 90                                                            | 100                                               |
| 42.41 (1)                                                | 110                               | 130                                             | 130                                                            | 85                                  | 100                                                           | 115                                               |
| 53.48 (1/0)                                              | 125                               | 150                                             | 150                                                            | 100                                 | 120                                                           | 135                                               |
| 67.43 (2/0)                                              | 145                               | 175                                             | 175                                                            | 115                                 | 135                                                           | 150                                               |
| 85.01 (3/0)                                              | 165                               | 200                                             | 200                                                            | 130                                 | 155                                                           | 175                                               |
| 107.2 (4/0)                                              | 195                               | 230                                             | 230                                                            | 150                                 | 180                                                           | 205                                               |
| 126.7 (250)                                              | 215                               | 255                                             | 255                                                            | 170                                 | 205                                                           | 230                                               |
| 152.0 (300)                                              | 240                               | 285                                             | 258                                                            | 190                                 | 230                                                           | 255                                               |
| 177.3 (350)                                              | 260                               | 310                                             | 310                                                            | 210                                 | 250                                                           | 280                                               |
| 202.7 (400)                                              | 280                               | 335                                             | 335                                                            | 225                                 | 270                                                           | 305                                               |
| 253.4 (500)                                              | 320                               | 380                                             | 380                                                            | 260                                 | 310                                                           | 350                                               |
| 304.0 (600)                                              | 355                               | 420                                             | 420                                                            | 285                                 | 340                                                           | 385                                               |
| 380.0 (750)                                              | 400                               | 475                                             | 475                                                            | 320                                 | 385                                                           | 435                                               |
| 506.7(1000)                                              | 455                               | 545                                             | 545                                                            | 375                                 | 445                                                           | 500                                               |

Fuente: NOM-001-SEDE



Tabla 2.96 Factores de corrección basados en temperatura ambiente 30°C

| Para temperaturas ambiente distintas de 30 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación: |                                    |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------|-------|
| Temperatura ambiente °C                                                                                                                                               | Rango de temperatura del conductor |       |       |
|                                                                                                                                                                       | 60° C                              | 75° C | 90° C |
| 10 o menos                                                                                                                                                            | 1.29                               | 1.20  | 1.15  |
| 11-15                                                                                                                                                                 | 1.22                               | 1.15  | 1.12  |
| 16-20                                                                                                                                                                 | 1.15                               | 1.11  | 1.08  |
| 21-25                                                                                                                                                                 | 1.08                               | 1.05  | 1.04  |
| 26-30                                                                                                                                                                 | 1.00                               | 1.00  | 1.00  |
| 31-35                                                                                                                                                                 | 0.91                               | 0.94  | 0.96  |
| 36-40                                                                                                                                                                 | 0.82                               | 0.88  | 0.91  |
| 41-45                                                                                                                                                                 | 0.71                               | 0.82  | 0.87  |
| 46-50                                                                                                                                                                 | 0.58                               | 0.75  | 0.82  |
| 51-55                                                                                                                                                                 | 0.41                               | 0.67  | 0.76  |
| 56-60                                                                                                                                                                 |                                    | 0.58  | 0.71  |
| 61-65                                                                                                                                                                 |                                    | 0.47  | 0.65  |
| 66-70                                                                                                                                                                 |                                    | 0.33  | 0.58  |
| 91-75                                                                                                                                                                 |                                    |       | 0.50  |
| 76-80                                                                                                                                                                 |                                    |       | 0.41  |
| 81-85                                                                                                                                                                 |                                    |       | 0.29  |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.97 Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30 °C

| Área de la sección transversal | Temperaturas máximas de operación |                                                |                                                                                                         |                |                                                              |                                                  |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                                | 60 °C                             | 75 °C                                          | 90 °C                                                                                                   | 60 °C          | 75 °C                                                        | 90 °C                                            |
|                                | Tipos TW*, UF*                    | Tipos RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, USE* | Tipos SA, SIS, FEO*, FEPS*, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, THHW-LS, TT, THWN-2, THHW*, USE-2, XHHW*, XHHW-2 | Tipos TW*, UF* | Tipos RHW*, THW*, THHW*, THW-LS, THHW-LS, THWW*, XHHW*, USE* | Tipos SA, SIS, RHH*, RHW-2, THW-2, THHW*, XHHW-2 |
| Cobre (Cu)                     |                                   |                                                | Aluminio o aluminio recubierto de cobre                                                                 |                |                                                              |                                                  |
| 0.8235 (18)                    |                                   |                                                | 18                                                                                                      |                |                                                              |                                                  |
| 1.307 (16)                     |                                   |                                                | 25                                                                                                      |                |                                                              |                                                  |
| 2.082 (14)                     | 25                                | 30                                             | 35*                                                                                                     |                |                                                              |                                                  |
| 3.307 (12)                     | 30                                | 35                                             | 40*                                                                                                     | 25*            | 35                                                           | 25                                               |
| 5.260 (10)                     | 40                                | 50                                             | 45*                                                                                                     | 35*            | 45                                                           | 35                                               |
| 8.367 (8)                      | 60                                | 70                                             | 80                                                                                                      | 45             | 55                                                           | 60                                               |
| 13.13 (6)                      | 80                                | 95                                             | 105                                                                                                     | 60             | 75                                                           | 80                                               |
| 21.15 (4)                      | 105                               | 125                                            | 140                                                                                                     | 80             | 100                                                          | 110                                              |
| 33.62 (2)                      | 140                               | 170                                            | 190                                                                                                     | 110            | 135                                                          | 150                                              |
| 42.41 (1)                      | 165                               | 195                                            | 220                                                                                                     | 130            | 155                                                          | 175                                              |
| 53.48 (1/0)                    | 195                               | 230                                            | 260                                                                                                     | 150            | 180                                                          | 205                                              |
| 67.43 (2/0)                    | 225                               | 265                                            | 300                                                                                                     | 175            | 210                                                          | 235                                              |
| 85.01 (3/0)                    | 260                               | 310                                            | 350                                                                                                     | 200            | 240                                                          | 275                                              |
| 107.2 (4/0)                    | 300                               | 360                                            | 405                                                                                                     | 235            | 280                                                          | 315                                              |
| 126.7 (250)                    | 340                               | 405                                            | 455                                                                                                     | 265            | 315                                                          | 355                                              |
| 152.0 (300)                    | 375                               | 445                                            | 505                                                                                                     | 290            | 350                                                          | 395                                              |
| 177.3 (350)                    | 420                               | 505                                            | 570                                                                                                     | 330            | 395                                                          | 445                                              |
| 202.7 (400)                    | 455                               | 545                                            | 615                                                                                                     | 355            | 425                                                          | 480                                              |
| 253.4 (500)                    | 515                               | 620                                            | 700                                                                                                     | 405            | 485                                                          | 545                                              |
| 304.0 (600)                    | 575                               | 690                                            | 780                                                                                                     | 455            | 540                                                          | 615                                              |
| 380.0 (750)                    | 655                               | 785                                            | 885                                                                                                     | 515            | 620                                                          | 700                                              |
| 506.7 (1000)                   | 780                               | 935                                            | 1055                                                                                                    | 625            | 750                                                          | 845                                              |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.98 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 ° C

| Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación: |       |       |       |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Temperatura ambiente °C                                                                                                                                               | 60° C | 75° C | 90° C | 150° C | 200° C | 250° C |
| 10 o menos                                                                                                                                                            | 1.58  | 1.36  | 1.26  | 1.13   | 1.09   | 1.07   |
| 11-15                                                                                                                                                                 | 1.50  | 1.31  | 1.22  | 1.11   | 1.08   | 1.06   |
| 16-20                                                                                                                                                                 | 1.41  | 1.25  | 1.18  | 1.09   | 1.06   | 1.05   |
| 21-25                                                                                                                                                                 | 1.32  | 1.20  | 1.14  | 1.07   | 1.05   | 1.04   |
| 26-30                                                                                                                                                                 | 1.22  | 1.13  | 1.10  | 1.04   | 1.03   | 1.02   |
| 31-35                                                                                                                                                                 | 1.12  | 1.07  | 1.05  | 1.02   | 1.02   | 1.01   |
| 36-40                                                                                                                                                                 | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 41-45                                                                                                                                                                 | 0.87  | 0.93  | 0.95  | 0.98   | 0.98   | 0.99   |
| 46-50                                                                                                                                                                 | 0.71  | 0.85  | 0.89  | 0.95   | 0.97   | 0.98   |
| 51-55                                                                                                                                                                 | 0.50  | 0.76  | 0.84  | 0.93   | 0.95   | 0.96   |
| 56-60                                                                                                                                                                 |       | 0.65  | 0.77  | 0.90   | 0.94   | 0.95   |
| 61-65                                                                                                                                                                 |       | 0.53  | 0.71  | 0.88   | 0.92   | 0.94   |
| 66-70                                                                                                                                                                 |       | 0.38  | 0.63  | 0.85   | 0.90   | 0.93   |
| 91-75                                                                                                                                                                 |       |       | 0.55  | 0.83   | 0.88   | 0.91   |
| 76-80                                                                                                                                                                 |       |       | 0.45  | 0.80   | 0.87   | 0.90   |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.99 Ampacidades permisibles de conductores aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en canalizaciones o cables y basadas en una temperatura ambiente del aire de 40 °C.

| Tamaño o designación |             | Temperatura nominal del conductor |                     |                                     |                                            |
|----------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
|                      |             | 150 °C                            | 200 °C              | 250 °C                              | 150 °C                                     |
|                      |             | Tipo Z                            | Tipos FEP, FEPB, SA | Tipos PFAH, TFE                     | Tipo Z                                     |
| mm <sup>2</sup>      | AWG o kcmil | COBRE                             |                     | NIQUEL O COBRE RECUBIERTO DE NIQUEL | DE ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE |
| 2.08                 | 14          | 46                                | 54                  | 59                                  | —                                          |
| 3.31                 | 12          | 60                                | 68                  | 78                                  | —                                          |
| 5.26                 | 10          | 80                                | 90                  | 107                                 | —                                          |
| 8.37                 | 8           | 106                               | 124                 | 142                                 | —                                          |
| 13.3                 | 6           | 155                               | 165                 | 205                                 | 112                                        |
| 21.2                 | 4           | 190                               | 220                 | 278                                 | 148                                        |
| 26.7                 | 3           | 214                               | 252                 | 327                                 | 170                                        |
| 33.6                 | 2           | 255                               | 293                 | 381                                 | 198                                        |
| 42.4                 | 1           | 293                               | 344                 | 440                                 | 228                                        |
| 53.5                 | 1/0         | 339                               | 399                 | 532                                 | 263                                        |
| 67.4                 | 2/0         | 390                               | 467                 | 591                                 | 305                                        |
| 85.0                 | 3/0         | 451                               | 546                 | 708                                 | 351                                        |
| 107                  | 4/0         | 529                               | 629                 | 830                                 | 411                                        |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.100 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 °C

| Para temperaturas ambiente distintas de 40 °C, multiplique las anteriores ampacidades permisibles por el factor correspondiente de los que se indican a continuación: |                                         |       |       |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Temperatura ambiente (°C)                                                                                                                                             | Rango de temperatura de los conductores |       |       |        |        |        |
|                                                                                                                                                                       | 60 °C                                   | 75 °C | 90 °C | 150 °C | 200 °C | 250 °C |
| 10 o menos                                                                                                                                                            | 1.58                                    | 1.36  | 1.26  | 1.13   | 1.09   | 1.07   |
| 11-15                                                                                                                                                                 | 1.50                                    | 1.31  | 1.22  | 1.11   | 1.08   | 1.06   |
| 16-20                                                                                                                                                                 | 1.41                                    | 1.25  | 1.18  | 1.09   | 1.06   | 1.05   |
| 21-25                                                                                                                                                                 | 1.32                                    | 1.20  | 1.14  | 1.07   | 1.05   | 1.04   |
| 26-30                                                                                                                                                                 | 1.22                                    | 1.13  | 1.10  | 1.04   | 1.03   | 1.02   |
| 31-35                                                                                                                                                                 | 1.12                                    | 1.07  | 1.05  | 1.02   | 1.02   | 1.01   |
| 36-40                                                                                                                                                                 | 1.00                                    | 1.00  | 1.00  | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 41-45                                                                                                                                                                 | 0.87                                    | 0.93  | 0.95  | 0.98   | 0.98   | 0.99   |
| 46-50                                                                                                                                                                 | 0.71                                    | 0.85  | 0.89  | 0.95   | 0.97   | 0.98   |
| 51-55                                                                                                                                                                 | 0.50                                    | 0.76  | 0.84  | 0.93   | 0.95   | 0.96   |
| 56-60                                                                                                                                                                 | -                                       | 0.65  | 0.77  | 0.90   | 0.94   | 0.95   |
| 61-65                                                                                                                                                                 | -                                       | 0.53  | 0.71  | 0.88   | 0.92   | 0.94   |
| 66-70                                                                                                                                                                 | -                                       | 0.38  | 0.63  | 0.85   | 0.90   | 0.93   |
| 91-75                                                                                                                                                                 | -                                       | -     | 0.55  | 0.83   | 0.88   | 0.91   |
| 76-80                                                                                                                                                                 | -                                       | -     | 0.45  | 0.80   | 0.87   | 0.90   |
| 81-90                                                                                                                                                                 | -                                       | -     | -     | 0.74   | 0.83   | 0.87   |
| 91-100                                                                                                                                                                | -                                       | -     | -     | 0.67   | 0.79   | 0.85   |
| 101-110                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | 0.60   | 0.75   | 0.82   |
| 111-120                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | 0.52   | 0.71   | 0.79   |
| 121-130                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | 0.43   | 0.66   | 0.76   |
| 131-140                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | 0.30   | 0.61   | 0.72   |
| 141-160                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | -      | 0.50   | 0.65   |
| 161-180                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | -      | 0.35   | 0.58   |
| 181-200                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | -      | -      | 0.49   |
| 201-225                                                                                                                                                               | -                                       | -     | -     | -      | -      | 0.35   |

Funete: NOM-001-SEDE

Tabla 2.101 Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C

| Tamaño o designación |             | Temperatura nominal del conductor |                     |                                     |                                         |
|----------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
|                      |             | 150 °C                            | 200 °C              | 250 °C                              | 150 °C                                  |
|                      |             | Tipo Z                            | Tipos FEP, FEPB, SA | Tipos PFAH, TFE                     | Tipo Z                                  |
| mm²                  | AWG o kcmil | COBRE                             |                     | Níquel o cobre recubierto de níquel | Aluminio o aluminio recubierto de cobre |
| 2.08                 | 14          | 46                                | 54                  | 59                                  | —                                       |
| 3.31                 | 12          | 60                                | 68                  | 78                                  | —                                       |
| 5.26                 | 10          | 80                                | 90                  | 107                                 | —                                       |
| 8.37                 | 8           | 106                               | 124                 | 142                                 | —                                       |
| 13.3                 | 6           | 155                               | 165                 | 205                                 | 112                                     |
| 21.2                 | 4           | 190                               | 220                 | 278                                 | 148                                     |
| 26.7                 | 3           | 214                               | 252                 | 327                                 | 170                                     |
| 33.6                 | 2           | 255                               | 293                 | 381                                 | 198                                     |
| 42.4                 | 1           | 293                               | 344                 | 440                                 | 228                                     |
| 53.5                 | 1/0         | 339                               | 399                 | 532                                 | 263                                     |
| 67.4                 | 2/0         | 390                               | 467                 | 591                                 | 305                                     |

Tabla 2.101. Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C (continuación)

| Tamaño o designación |             | Temperatura nominal del conductor |                     |                                     |                                         |
|----------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|
|                      |             | 150 °C                            | 200 °C              | 250 °C                              | 150 °C                                  |
|                      |             | Tipo Z                            | Tipos FEP, FEPB, SA | Tipos PFAH, TFE                     | Tipo Z                                  |
| mm²                  | AWG o kcmil | COBRE                             |                     | Níquel o cobre recubierto de níquel | Aluminio o aluminio recubierto de cobre |
| 85.0                 | 3/0         | 451                               | 546                 | 708                                 | 351                                     |
| 107                  | 4/0         | 529                               | 629                 | 830                                 | 411                                     |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.102 Factores de corrección para conductores aislados al aire libre

| Temperatura ambiente °C | Para temperatura ambiente diferente de 40°C, multiplique las capacidades de corriente de la tabla mostradas arriba, por el factor de corrección correspondiente en esta tabla |      |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 41-50                   | 0.97                                                                                                                                                                          | 0.98 |
| 51-60                   | 0.94                                                                                                                                                                          | 0.95 |
| 61-70                   | 0.90                                                                                                                                                                          | 0.93 |
| 71-80                   | 0.87                                                                                                                                                                          | 0.90 |
| 81-90                   | 0.83                                                                                                                                                                          | 0.87 |
| 91-100                  | 0.79                                                                                                                                                                          | 0.85 |
| 101-120                 | 0.71                                                                                                                                                                          | 0.79 |
| 121-140                 | 0.61                                                                                                                                                                          | 0.72 |
| 141-160                 | 0.50                                                                                                                                                                          | 0.65 |
| 161-180                 | 0.35                                                                                                                                                                          | 0.58 |
| 181-200                 | -                                                                                                                                                                             | 0.49 |
| 201-225                 | -                                                                                                                                                                             | 0.35 |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.103 Ampacidad permisible de cables monoconductores de cobre aislados en configuración tríplex al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C.

| Área de la sección transversal mm² (AWG - KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.367 (8)                                      | 65            | -              |
| 13.30 (6)                                      | 90            | 100            |
| 21.15 (4)                                      | 120           | 130            |
| 33.62 (2)                                      | 160           | 170            |
| 42.41 (1)                                      | 185           | 195            |
| 53.48 (1/0)                                    | 215           | 225            |
| 67.43 (2/0)                                    | 250           | 260            |
| 85.01 (3/0)                                    | 290           | 300            |
| 107.2 (4/0)                                    | 335           | 345            |
| 126.7 (250)                                    | 375           | 380            |
| 177.3 (350)                                    | 465           | 470            |
| 253.4 (500)                                    | 580           | 580            |
| 380.0 (750)                                    | 750           | 730            |
| 506.7 (1 000)                                  | 880           | 850            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.104 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado mono conductor, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) | 2,001-5,000 V | 5,001-35,000 V |
|----------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.367 (8)                                                | 50            | -              |
| 13.30 (6)                                                | 70            | 75             |
| 21.15 (4)                                                | 90            | 100            |
| 33.62 (2)                                                | 125           | 130            |
| 42.41 (1)                                                | 145           | 150            |
| 53.48 (1/0)                                              | 170           | 175            |
| 67.43 (2/0)                                              | 195           | 200            |
| 85.01 (3/0)                                              | 225           | 230            |
| 107.2 (4/0)                                              | 265           | 270            |
| 126.7(250)                                               | 295           | 300            |
| 177.3 (350)                                              | 365           | 370            |
| 253.4 (500)                                              | 460           | 460            |
| 380.0 (750)                                              | 600           | 590            |
| 506.7 (1 000)                                            | 715           | 700            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.105 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado, conductor de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG -KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|-----------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 13.30 (6)                                                 | 70            | 75             |
| 21.15 (4)                                                 | 90            | 100            |
| 33.62 (2)                                                 | 125           | 130            |
| 42.41 (1)                                                 | 145           | 150            |
| 53.48 (1/0)                                               | 170           | 175            |
| 67.43 (2/0)                                               | 195           | 200            |
| 85.01 (3/0)                                               | 225           | 230            |
| 107.2 (4/0)                                               | 265           | 270            |
| 126.7 (250)                                               | 295           | 300            |
| 177.3 (350)                                               | 365           | 370            |
| 253.4 (500)                                               | 460           | 460            |
| 380.0 (750)                                               | 600           | 590            |
| 506.7(1 000)                                              | 715           | 700            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.106 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de cobre, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG - KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.367 (8)                                                  | 59            | —              |
| 13.30 (6)                                                  | 79            | 93             |
| 21.15 (4)                                                  | 105           | 120            |
| 33.62 (2)                                                  | 140           | 165            |
| 42.41 (1)                                                  | 160           | 185            |
| 53.48 (1/0)                                                | 185           | 215            |
| 67.43 (2/0)                                                | 215           | 245            |
| 85.01 (3/0)                                                | 250           | 285            |
| 107.2 (4/0)                                                | 285           | 325            |
| 126.7 (250)                                                | 320           | 360            |
| 177.3 (350)                                                | 395           | 435            |
| 253.4 (500)                                                | 485           | 535            |
| 380.0 (750)                                                | 615           | 670            |
| 506.7 (1000)                                               | 705           | 770            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.107 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|----------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 13.30 (6)                                                | 61            | 72             |
| 2115 (4)                                                 | 81            | 95             |
| 33.62 (2)                                                | 110           | 125            |
| 42.41 (1)                                                | 125           | 145            |
| 53.48 (1/0)                                              | 145           | 170            |
| 67.43 (2/0)                                              | 170           | 190            |
| 85.01 (3/0)                                              | 195           | 220            |
| 107.2 (4/0)                                              | 225           | 255            |
| 126.7 (250)                                              | 250           | 280            |
| 177.3 (350)                                              | 310           | 345            |
| 253.4 (500)                                              | 385           | 425            |
| 380.0 (750)                                              | 495           | 540            |
| 506.7 (1000)                                             | 585           | 635            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.108 Capacidad de conducción de corriente de un cable triplex o de tres cables cobre, en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup><br>(AWG-KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|-------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.367 (8)                                                   | 55            | —              |
| 13.30 (6)                                                   | 75            | 83             |
| 2115 (4)                                                    | 97            | 110            |
| 33.62 (2)                                                   | 130           | 150            |
| 42.41 (1)                                                   | 155           | 170            |
| 53.48 (1/0)                                                 | 180           | 195            |
| 67.43 (2/0)                                                 | 205           | 225            |
| 85.01 (3/0)                                                 | 240           | 260            |
| 107.2 (4/0)                                                 | 280           | 295            |
| 126.7 (250)                                                 | 315           | 330            |
| 177.3 (350)                                                 | 385           | 395            |
| 253.4 (500)                                                 | 475           | 480            |
| 380.0 (750)                                                 | 600           | 585            |
| 506.7 (1000)                                                | 690           | 675            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.109 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de cobre en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 150°C y para temperatura ambiente de 40°C

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup><br>(AWG-KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|-------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.367 (8)                                                   | 61            |                |
| 13.30 (6)                                                   | 84            | 83             |
| 2115 (4)                                                    | 110           | 110            |
| 33.62 (2)                                                   | 145           | 150            |
| 42.41 (1)                                                   | 175           | 170            |
| 53.48 (1/0)                                                 | 200           | 195            |
| 67.43 (2/0)                                                 | 225           | 225            |
| 85.01 (3/0)                                                 | 270           | 260            |
| 107.2 (4/0)                                                 | 305           | 295            |
| 126.7 (250)                                                 | 355           | 330            |
| 177.3 (350)                                                 | 430           | 395            |
| 253.4 (500)                                                 | 530           | 480            |
| 380.0 (750)                                                 | 665           | 585            |
| 506.7 (1000)                                                | 770           | 675            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.110 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de aluminio en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C

| Área de la sección transversal mm <sup>2</sup><br>(AWG-KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|-------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 13.30 (6)                                                   | 58            | 65             |
| 2115 (4)                                                    | 76            | 84             |
| 33.6 (2)                                                    | 100           | 115            |
| 42.41 (1)                                                   | 120           | 130            |
| 53.48 (1/0)                                                 | 140           | 150            |
| 67.43 (2/0)                                                 | 160           | 175            |
| 85.01 (3/0)                                                 | 190           | 200            |
| 107.2 (4/0)                                                 | 215           | 230            |
| 126.7 (250)                                                 | 250           | 255            |
| 177.3 (350)                                                 | 305           | 310            |
| 253.4 (500)                                                 | 380           | 385            |
| 380.0 (750)                                                 | 490           | 485            |
| 506.7 (1000)                                                | 580           | 565            |

Fuente: NOM-001-SEDE



Tabla 2.111 Capacidad de conducción de corriente de tres cables aislados mono conductores de cobre en ductos eléctricos subterráneos (tres cables por ducto), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C

| Área de la sección transversal<br>mm²(AWG-KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.367 (8)                                      | 64            | —              |
| 13.30 (6)                                      | 85            | 90             |
| 21.15 (4)                                      | 110           | 115            |
| 33.62 (2)                                      | 145           | 155            |
| 42.41(1)                                       | 170           | 175            |
| 53.48 (1/0)                                    | 195           | 200            |
| 67.43 (2/0)                                    | 220           | 230            |
| 85.01 (3/0)                                    | 250           | 260            |
| 107.2 (4/0)                                    | 290           | 295            |
| 126.7 (250 )                                   | 320           | 325            |
| 177.3 (350)                                    | 385           | 390            |
| 253.4 (500)                                    | 470           | 465            |
| 380.0 (750)                                    | 585           | 565            |
| 560.7 (1000)                                   | 670           | 640            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.112 Ampacidad de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C, temperatura del conductor de 90 °C

| Un circuito, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)      | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|----------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.367 (8)                                                      | 64            |                |
| 13.30 (6)                                                      | 85            | 90             |
| 2115 (4)                                                       | 110           | 115            |
| 33.62 (2)                                                      | 145           | 155            |
| 42.41 (1)                                                      | 170           | 175            |
| 53.48 (1/0)                                                    | 195           | 200            |
| 67.43 (2/0)                                                    | 220           | 230            |
| 85.01 (3/0)                                                    | 250           | 260            |
| 107.2 (4/0)                                                    | 290           | 295            |
| 126.7 (250)                                                    | 320           | 325            |
| 177.3 (350)                                                    | 385           | 390            |
| 253.4 (500)                                                    | 470           | 465            |
| 380.0 (750)                                                    | 585           | 565            |
| 506.7(1000)                                                    | 670           | 640            |
| Tres circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG - KCM) |               |                |
| 8.367 (8)                                                      | 56            |                |
| 13.30 (6)                                                      | 73            | 77             |
| 2115 (4)                                                       | 95            | 99             |
| 33.62 (2)                                                      | 125           | 130            |
| 42.41 (1)                                                      | 140           | 145            |
| 53.48 (1/0)                                                    | 160           | 165            |
| 67.43 (2/0)                                                    | 185           | 185            |
| 85.01 (3/0)                                                    | 210           | 210            |
| 107.2 (4/0)                                                    | 235           | 240            |
| 126.7 (250)                                                    | 260           | 260            |
| 177.3 (350)                                                    | 315           | 310            |
| 253.4 (500)                                                    | 375           | 370            |
| 380.0 (750)                                                    | 460           | 460            |
| 506.7 (1000)                                                   | 525           | 495            |
| Seis circuitos, área de la sección transversal mm² (AWG - KCM) |               |                |
| 8.367 (8)                                                      | 48            |                |
| 13.30 (6)                                                      | 62            | 64             |
| 2115 (4)                                                       | 80            | 82             |
| 33.62 (2)                                                      | 105           | 105            |
| 42.41 (1)                                                      | 115           | 120            |
| 53.48 (1/0)                                                    | 135           | 135            |
| 67.43 (2/0)                                                    | 150           | 150            |
| 85.01 (3/0)                                                    | 170           | 170            |
| 107.2 (4/0)                                                    | 195           | 190            |
| 126.7 (250)                                                    | 210           | 210            |
| 177.3 (350)                                                    | 250           | 245            |
| 253.4 (500)                                                    | 300           | 290            |
| 380.0 (750)                                                    | 365           | 350            |
| 506.7 (1000)                                                   | 410           | 390            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.113 Ampacidad de tres conductores de aluminio, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

| Un circuito área sección transversal mm <sup>2</sup><br>(AWG-KCM) | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|-------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 13.30 (6)                                                         | 66            | 70             |
| 21.15 (4)                                                         | 86            | 91             |
| 33.62 (2)                                                         | 115           | 120            |
| 42.41 (1)                                                         | 130           | 135            |
| 53.48 (1/0)                                                       | 150           | 155            |
| 67.43 (2/0)                                                       | 170           | 175            |
| 85.01 (3/0)                                                       | 195           | 200            |
| 107.2 (4/0)                                                       | 225           | 230            |
| 126.7 (250)                                                       | 250           | 250            |
| 177.3 (350)                                                       | 305           | 305            |
| 253.4 (500)                                                       | 370           | 370            |
| 380.0 (750)                                                       | 470           | 455            |
| 506.7 (1000)                                                      | 545           | 525            |
| Tres circuitos área sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) |               |                |
| 8.637 (8)                                                         | 44            | ----           |
| 13.30 (6)                                                         | 57            | 60             |
| 21.15 (4)                                                         | 74            | 77             |
| 33.62 (2)                                                         | 96            | 100            |
| 42.41 (1)                                                         | 110           | 110            |
| 53.48 (1/0)                                                       | 125           | 125            |
| 67.43 (2/0)                                                       | 145           | 145            |
| 85.01 (3/0)                                                       | 160           | 165            |
| 107.2 (4/0)                                                       | 185           | 185            |
| 126.7 (250)                                                       | 205           | 200            |
| 177.3 (350)                                                       | 245           | 245            |
| 253.4 (500)                                                       | 295           | 290            |
| 380.0 (750)                                                       | 370           | 355            |
| 506.7 (1000)                                                      | 425           | 405            |
| Seis circuitos área sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) |               |                |
| 8.637 (8)                                                         | 38            | ----           |
| 13.30 (6)                                                         | 48            | 50             |
| 21.15 (4)                                                         | 62            | 64             |
| 33.62 (2)                                                         | 80            | 80             |
| 42.41 (1)                                                         | 91            | 90             |
| 53.48 (1/0)                                                       | 105           | 105            |
| 67.43 (2/0)                                                       | 115           | 115            |
| 85.01 (3/0)                                                       | 135           | 130            |
| 107.2 (4/0)                                                       | 150           | 150            |
| 126.7 (250)                                                       | 165           | 165            |
| 177.3 (350)                                                       | 195           | 195            |
| 253.4 (500)                                                       | 240           | 230            |
| 380.0 (750)                                                       | 290           | 280            |
| 506.7 (1000)                                                      | 335           | 320            |

Fuente: NOM-001-SEDEE

Tabla 2.114 Ampacidad de tres conductores de cobre aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

| Un circuito, área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM)    | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|--------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.637 (8)                                                                | 59            | ----           |
| 13.30 (6)                                                                | 78            | 88             |
| 21.15 (4)                                                                | 100           | 115            |
| 33.62 (2)                                                                | 135           | 150            |
| 42.41 (1)                                                                | 155           | 170            |
| 53.48 (1/0)                                                              | 175           | 195            |
| 67.43 (2/0)                                                              | 200           | 220            |
| 85.01 (3/0)                                                              | 230           | 250            |
| 107.2 (4/0)                                                              | 265           | 285            |
| 126.7 (250)                                                              | 290           | 310            |
| 177.3 (350)                                                              | 355           | 375            |
| 253.4 (500)                                                              | 430           | 450            |
| 380.0 (750)                                                              | 530           | 545            |
| 506.7 (1000)                                                             | 600           | 615            |
| Tres circuitos, área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) |               |                |
| 8.637 (8)                                                                | 53            | ----           |
| 13.30 (6)                                                                | 69            | 75             |
| 21.15 (4)                                                                | 89            | 97             |
| 33.62 (2)                                                                | 115           | 125            |
| 42.41 (1)                                                                | 135           | 140            |
| 53.48 (1/0)                                                              | 150           | 160            |
| 67.43 (2/0)                                                              | 170           | 185            |
| 85.01 (3/0)                                                              | 195           | 205            |
| 107.2 (4/0)                                                              | 225           | 30             |
| 126.7 (250)                                                              | 245           | 255            |
| 177.3 (350)                                                              | 295           | 305            |
| 253.4 (500)                                                              | 355           | 360            |
| 380.0 (750)                                                              | 430           | 430            |
| 506.7 (1000)                                                             | 485           | 485            |
| Seis circuitos, área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) |               |                |
| 8.637 (8)                                                                | 45            | ----           |
| 13.30 (6)                                                                | 60            | 63             |
| 21.15 (4)                                                                | 77            | 81             |
| 33.62 (2)                                                                | 98            | 105            |
| 42.41 (1)                                                                | 110           | 115            |
| 53.48 (1/0)                                                              | 125           | 130            |
| 67.43 (2/0)                                                              | 145           | 150            |
| 85.01 (3/0)                                                              | 165           | 170            |
| 107.2 (4/0)                                                              | 185           | 190            |
| 126.7 (250)                                                              | 200           | 205            |
| 177.3 (350)                                                              | 240           | 245            |
| 253.4 (500)                                                              | 290           | 290            |
| 380.0 (750)                                                              | 350           | 340            |
| 506.7 (1000)                                                             | 390           | 380            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.115 Ampacidad de tres conductores de aluminio aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

| Un circuito, área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM)          | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.637 (8)                                                                      | 46            | ----           |
| 13.30 (6)                                                                      | 61            | 69             |
| 21.15 (4)                                                                      | 80            | 89             |
| 33.62 (2)                                                                      | 105           | 105            |
| 42.41 (1)                                                                      | 120           | 135            |
| 53.48 (1/0)                                                                    | 140           | 150            |
| 67.43 (2/0)                                                                    | 160           | 170            |
| 85.01 (3/0)                                                                    | 180           | 195            |
| 107.2 (4/0)                                                                    | 205           | 220            |
| 126.7 (250)                                                                    | 230           | 245            |
| 177.3 (350)                                                                    | 280           | 295            |
| 253.4 (500)                                                                    | 340           | 335            |
| 380.0 (750)                                                                    | 425           | 440            |
| 506.7 (1000)                                                                   | 495           | 510            |
| <b>Tres circuitos, área de la sección transversal mm<sup>2</sup> (AWG-KCM)</b> |               |                |
| 8.637 (8)                                                                      | 41            | ----           |
| 13.30 (6)                                                                      | 54            | 59             |
| 21.15 (4)                                                                      | 70            | 75             |
| 33.62 (2)                                                                      | 90            | 100            |
| 42.41 (1)                                                                      | 105           | 110            |
| 53.48 (1/0)                                                                    | 120           | 125            |
| 67.43 (2/0)                                                                    | 135           | 140            |
| 85.01 (3/0)                                                                    | 155           | 160            |
| 107.2 (4/0)                                                                    | 175           | 180            |
| 126.7 (250)                                                                    | 190           | 200            |
| 177.3 (350)                                                                    | 230           | 240            |
| 253.4 (500)                                                                    | 280           | 285            |
| 380.0 (750)                                                                    | 345           | 350            |
| 506.7 (1000)                                                                   | 400           | 400            |
| <b>Seis circuitos, área de la sección transversal mm<sup>2</sup> (AWG-KCM)</b> |               |                |
| 8.637 (8)                                                                      | 36            | ----           |
| 13.30 (6)                                                                      | 46            | 49             |
| 21.15 (4)                                                                      | 60            | 63             |
| 33.62 (2)                                                                      | 77            | 80             |
| 42.41 (1)                                                                      | 87            | 90             |
| 53.48 (1/0)                                                                    | 99            | 105            |
| 67.43 (2/0)                                                                    | 110           | 115            |
| 85.01 (3/0)                                                                    | 130           | 130            |
| 107.2 (4/0)                                                                    | 145           | 150            |
| 126.7 (250)                                                                    | 160           | 160            |
| 177.3 (350)                                                                    | 190           | 190            |
| 253.4 (500)                                                                    | 230           | 230            |
| 380.0 (750)                                                                    | 280           | 275            |
| 506.7 (1000)                                                                   | 320           | 315            |

Fuente: NOM-001-SEDEE

Tabla 2.116 Ampacidad de conductores individuales de cobre, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperaturas del conductor de 90 °C

| Un circuito, 3 conductores. Área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)   | 2 001-5 000 V A | 5 001-35 000 V A |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|
| 8.637 (8)                                                                  | 110             | -                |
| 13.30 (6)                                                                  | 140             | 130              |
| 21.15 (4)                                                                  | 180             | 170              |
| 33.62 (2)                                                                  | 230             | 210              |
| 42.41 (1)                                                                  | 260             | 240              |
| 53.48 (1/0)                                                                | 295             | 275              |
| 67.43 (2/0)                                                                | 335             | 310              |
| 85.01 (3/0)                                                                | 385             | 355              |
| 107.2 (4/0)                                                                | 435             | 405              |
| 126.7 (250)                                                                | 470             | 460              |
| 177.3 (350)                                                                | 570             | 535              |
| 253.4 (500)                                                                | 690             | 650              |
| 380.0 (750)                                                                | 845             | 805              |
| 506.7 (1000)                                                               | 980             | 930              |
| Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM) |                 |                  |
| 8.637 (8)                                                                  | 100             | -                |
| 13.30 (6)                                                                  | 130             | 120              |
| 21.15 (4)                                                                  | 165             | 160              |
| 33.62 (2)                                                                  | 215             | 195              |
| 42.41 (1)                                                                  | 240             | 225              |
| 53.48 (1/0)                                                                | 275             | 255              |
| 67.43 (2/0)                                                                | 310             | 290              |
| 85.01 (3/0)                                                                | 355             | 330              |
| 107.2 (4/0)                                                                | 400             | 375              |
| 126.7 (250)                                                                | 435             | 410              |
| 177.3 (350)                                                                | 520             | 495              |
| 253.4 (500)                                                                | 630             | 600              |
| 380.0 (750)                                                                | 775             | 740              |
| 506.7 (1000)                                                               | 890             | 855              |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.117 Ampacidad de conductores individuales de aluminio, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

| Un circuito, 3 conductores. Área de la sección transversal mm <sup>2</sup><br>(AWG-KCM)      | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.637 (8)                                                                                    | 85            | -              |
| 13.30 (6)                                                                                    | 110           | 100            |
| 21.15 (4)                                                                                    | 140           | 130            |
| 33.62 (2)                                                                                    | 180           | 165            |
| 42.41 (1)                                                                                    | 205           | 185            |
| 53.48 (1/0)                                                                                  | 230           | 215            |
| 67.43 (2/0)                                                                                  | 265           | 245            |
| 85.01 (3/0)                                                                                  | 300           | 275            |
| 107.2 (4/0)                                                                                  | 340           | 315            |
| 126.7 (250)                                                                                  | 370           | 345            |
| 177.3 (350)                                                                                  | 445           | 415            |
| 253.4 (500)                                                                                  | 540           | 510            |
| 380.0 (750)                                                                                  | 665           | 635            |
| 506.7 (1000)                                                                                 | 780           | 740            |
| <b>Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm<sup>2</sup> (AWG-KCM)</b> |               |                |
| 8.637 (8)                                                                                    | 80            | -              |
| 13.30 (6)                                                                                    | 100           | 95             |
| 21.15 (4)                                                                                    | 130           | 125            |
| 33.62 (2)                                                                                    | 165           | 155            |
| 42.41 (1)                                                                                    | 190           | 175            |
| 53.48 (1/0)                                                                                  | 215           | 200            |
| 67.43 (2/0)                                                                                  | 245           | 225            |
| 85.01 (3/0)                                                                                  | 275           | 255            |
| 107.2 (4/0)                                                                                  | 310           | 290            |
| 126.7 (250)                                                                                  | 340           | 320            |
| 177.3 (350)                                                                                  | 410           | 385            |
| 253.4 (500)                                                                                  | 495           | 470            |
| 380.0 (750)                                                                                  | 610           | 580            |
| 506.7 (1000)                                                                                 | 710           | 680            |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.118 Ampacidad de tres conductores de cobre, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

| Un circuito, área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM)                  | 2 001-5 000 V | 5 001-35 000 V |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| 8.637 (8)                                                                              | 85            | -              |
| 13.30 (6)                                                                              | 105           | 115            |
| 21.15 (4)                                                                              | 135           | 145            |
| 33.62 (2)                                                                              | 180           | 185            |
| 42.41 (1)                                                                              | 200           | 210            |
| 53.48 (1/0)                                                                            | 230           | 240            |
| 67.43 (2/0)                                                                            | 260           | 270            |
| 85.01 (3/0)                                                                            | 295           | 305            |
| 107.2 (4/0)                                                                            | 335           | 350            |
| 126.7 (250)                                                                            | 365           | 380            |
| 177.3 (350)                                                                            | 460           | 460            |
| 253.4 (500)                                                                            | 530           | 550            |
| 380.0 (750)                                                                            | 650           | 665            |
| 506.7 (1000)                                                                           | 730           | 750            |
| Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (AWG-KCM) |               |                |
| 8.637 (8)                                                                              | 80            | -              |
| 13.30 (6)                                                                              | 100           | 105            |
| 21.15 (4)                                                                              | 130           | 135            |
| 33.62 (2)                                                                              | 165           | 170            |
| 42.41 (1)                                                                              | 185           | 195            |
| 53.48 (1/0)                                                                            | 215           | 220            |
| 67.43 (2/0)                                                                            | 240           | 250            |
| 85.01 (3/0)                                                                            | 275           | 280            |
| 107.2 (4/0)                                                                            | 310           | 320            |
| 126.7 (250)                                                                            | 340           | 350            |
| 177.3 (350)                                                                            | 410           | 420            |
| 253.4 (500)                                                                            | 490           | 500            |
| 380.0 (750)                                                                            | 595           | 605            |
| 506.7 (1000)                                                                           | 665           | 675            |

Fuente: NOM-001-SEDE



Tabla 2.119 Ampacidad de tres conductores de aluminio, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C

| Un circuito, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)                         | 2 001-5 000 V A | 5001 - 35 000 V A |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| 8.637 (8)                                                                         | 65              | -                 |
| 13.30 (6)                                                                         | 80              | 90                |
| 21.15 (4)                                                                         | 105             | 115               |
| 33.62 (2)                                                                         | 140             | 145               |
| 42.41 (1)                                                                         | 155             | 165               |
| 53.48 (1/0)                                                                       | 180             | 185               |
| 67.43 (2/0)                                                                       | 205             | 210               |
| 85.01 (3/0)                                                                       | 230             | 240               |
| 107.2 (4/0)                                                                       | 260             | 270               |
| 126.7 (250)                                                                       | 285             | 300               |
| 177.3 (350)                                                                       | 345             | 360               |
| 253.4 (500)                                                                       | 420             | 435               |
| 380.0 (750)                                                                       | 520             | 540               |
| 506.7 (1000)                                                                      | 600             | 620               |
| <b>Dos circuitos, 6 conductores, área de la sección transversal mm² (AWG-KCM)</b> |                 |                   |
| 8.637 (8)                                                                         | 60              | -                 |
| 13.30 (6)                                                                         | 75              | 80                |
| 21.15 (4)                                                                         | 100             | 105               |
| 33.62 (2)                                                                         | 130             | 135               |
| 42.41 (1)                                                                         | 145             | 150               |
| 53.48 (1/0)                                                                       | 165             | 170               |
| 67.43 (2/0)                                                                       | 190             | 195               |
| 85.01 (3/0)                                                                       | 215             | 220               |
| 107.2 (4/0)                                                                       | 245             | 250               |
| 126.7 (250)                                                                       | 265             | 275               |
| 177.3 (350)                                                                       | 320             | 330               |
| 253.4 (500)                                                                       | 385             | 395               |
| 380.0 (750)                                                                       | 480             | 485               |
| 506.7 (1000)                                                                      | 550             | 560               |

Fuente: NOM-001-SEDE

Tabla 2.120 Propiedades comparativas de materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos

| Metal          | Densidad          | Temperatura de fusión | Coefficiente lineal de dilatación | Resistividad eléctrica a 20°C | Coefficiente térmico de resistividad eléctrica a 20°C | Conductividad eléctrica |
|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------|
|                | g/cm <sup>3</sup> | °C                    | 10 <sup>-6</sup> / °C             | Ohm -mm <sup>2</sup> -/km     | 1/(°C)                                                | % IACS*                 |
| Aluminio       | 2.70              | 650                   | 2.9                               | 28.264                        | 0.00403                                               | 61.0                    |
| Cobre recocido | 8.89              | 1083                  | 6.5                               | 17.7                          | 0.00383                                               | 100                     |
| Cobre duro     | 8.89              | 1083                  | 6.5                               | 17.421                        | 0.00393                                               | 96.2                    |

Fuente: IACS = International Annealed Copper Standard.

Tabla 2.121 Comparación de características entre cobre y aluminio

| Característica                 | Cobre | Aluminio |
|--------------------------------|-------|----------|
| <b>Para igual volumen</b>      |       |          |
| Relación de peso               | 1.0   | 0.3      |
| <b>Para igual conductancia</b> |       |          |
| Relación de área               | 1.0   | 1.64     |
| Relación de diámetro           | 1.0   | 1.27     |
| Relación de peso               | 1.0   | 0.49     |
| <b>Para igual capacidad</b>    |       |          |
| Relación de área               | 1.0   | 1.39     |
| Relación de diámetro           | 1.0   | 1.18     |
| Relación de peso               | 1.0   | 0.42     |
| <b>Para igual diámetros</b>    |       |          |
| Relación de resistencias       | 1.0   | 1.61     |
| Relación de corriente          | 1.0   | 0.78     |

Tabla 2.122 Pantalla de cintas vs pantalla de alambres

| Tipo de pantalla   | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Desventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A base de cintas   | -Proporciona una pantalla electrostática adecuada<br>-Reduce el ingreso de humedad en el aislamiento                                                                                                                                                                                                                                            | -Propiedades eléctricas inconsistentes, debido a que en el manejo se afecta el traslape<br>-Requiere de radios de curvaturas mayores que para conductores con pantalla de alambres<br>-Construcción vulnerable durante la instalación<br>-En empalmes y terminales se requiere de mayor tiempo y habilidad para ejecutar adecuadamente los cortes |
| A base de alambres | -Proporciona una pantalla electrostática adecuada<br>-Las características eléctricas de la pantalla son consistentes y controlables<br>-Fácilmente se incrementa la capacidad modificando el número de alambres<br>-No requiere de gran destreza para realizar cortes en empalmes y terminales<br>-Son menos vulnerables durante la instalación | -Permite el paso de la humedad libremente<br>-Requiere precauciones para evitar desplazamiento de los alambres durante la instalación                                                                                                                                                                                                             |

Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts

| Nombre genérico                                             | Tipo       | Temperatura máxima del conductor | Aplicaciones previstas                                                                                                                                          | Aislamiento                                                                         | Recubrimiento externo <sup>1</sup>                                                      |
|-------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Etileno-propileno fluorado                                  | FEP o FEPB | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                                                                                                                                         | Etileno-propileno fluorado                                                          | Ninguno                                                                                 |
|                                                             |            | 200 °C                           | Lugares secos                                                                                                                                                   |                                                                                     | Trenza de fibra de vidrio                                                               |
|                                                             |            |                                  | Para aplicaciones especiales <sup>2</sup>                                                                                                                       |                                                                                     | Trenza de fibra de vidrio u otro material trenzado.                                     |
| Aislamiento mineral (con cubierta metálica)                 | MI         | 90 °C                            | Lugares secos y mojados                                                                                                                                         | Oxido de magnesio <sup>3</sup>                                                      | Cobre o aleación de acero                                                               |
|                                                             |            | 250 °C                           | Para aplicaciones especiales <sup>2</sup>                                                                                                                       |                                                                                     |                                                                                         |
| Termoplástico resistente a la humedad, al calor y al aceite | MTW        | 60 °C                            | Alambrado de máquinas herramienta en lugares mojados.                                                                                                           | Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad, al calor y al aceite | Ninguno, cubierta de nylon o equivalente                                                |
|                                                             |            | 90 °C                            | Alambrado de máquinas herramienta en lugares secos.                                                                                                             |                                                                                     |                                                                                         |
| Papel                                                       |            | 85 °C                            | Para conductores subterráneos de acometida                                                                                                                      | Papel                                                                               | Cubierta de plomo                                                                       |
| Perfluoroalcoxi                                             | PFA        | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                                                                                                                                         | Perfluoroalcoxi                                                                     | Ninguno                                                                                 |
|                                                             |            | 200 °C                           | Lugares secos y aplicaciones especiales <sup>2</sup>                                                                                                            |                                                                                     |                                                                                         |
| Perfluoroalcoxi                                             | PFAH       | 250 °C                           | Sólo para lugares secos. Sólo para cables dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos (sólo de níquel o de cobre recubiertos de níquel) | Perfluoroalcoxi                                                                     | Ninguno                                                                                 |
| Termofijo                                                   | RHH        | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                                                                                                                                         |                                                                                     | Recubrimiento no metálico, resistente a la humedad y retardante a la flama <sup>1</sup> |
| Termofijo resistente a la humedad                           | RHW        | 75 °C                            | Lugares secos y mojados                                                                                                                                         | Termofijo resistente a la humedad y retardante a la flama                           | Recubrimiento no metálico, resistente a la humedad y retardante a la flama <sup>4</sup> |
|                                                             | RHW-2      | 90 °C                            |                                                                                                                                                                 |                                                                                     |                                                                                         |
| Hule silicón                                                | SA         | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                                                                                                                                         | Hule silicón                                                                        | Trenza de fibra de vidrio u otro material.                                              |
|                                                             |            | 200 °C                           | Para aplicaciones especiales <sup>2</sup>                                                                                                                       |                                                                                     |                                                                                         |
| Termofijo                                                   | SIS        | 90 °C                            | Sólo para alambrado de tableros.                                                                                                                                | Termofijo retardante a la flama                                                     | Ninguno                                                                                 |

Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)

| Nombre genérico                                                                                                                                  | Tipo    | Temperatura máxima del conductor | Aplicaciones previstas                                                                                                                                         | Aislamiento                                                                                                          | Recubrimiento externo <sup>1</sup>              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Termoplástico y malla externa de material fibroso                                                                                                | TBS     | 90 °C                            | Sólo para alambrado de tableros                                                                                                                                | Termoplástico                                                                                                        | Recubrimiento no metálico retardante a la flama |
| Politetra-fluoroetileno                                                                                                                          | TFE     | 250 °C                           | Sólo para lugares secos. Sólo para cables dentro de aparatos o dentro de canalizaciones conectadas a aparatos (sólo de níquel o de cobre recubierto de níquel) | Politetra-fluoroetileno                                                                                              | Ninguno                                         |
| Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor y a la propagación de la flama.                                                         | THHN    | 90 °C                            | Lugares secos                                                                                                                                                  | Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor                                             | Cubierta de nylon o equivalente.                |
| Termoplástico resistente a la humedad, al calor y retardante a la flama.                                                                         | THHW    | 75 °C                            | Lugares mojados                                                                                                                                                | Termoplástico retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad.                                            | Ninguno                                         |
|                                                                                                                                                  |         | 90 °C                            | Lugares secos                                                                                                                                                  |                                                                                                                      |                                                 |
| Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y gas ácido                                 | THHW-LS | 75 °C                            | Lugares mojados                                                                                                                                                | Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y gas ácido     | Ninguno                                         |
|                                                                                                                                                  |         | 90 °C                            | Lugares secos                                                                                                                                                  |                                                                                                                      |                                                 |
| Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor                                                                         | THW     | 75 °C                            | Lugares mojados                                                                                                                                                | Termoplástico retardante a la flama y resistente a la humedad y al calor                                             | Ninguno                                         |
|                                                                                                                                                  | THW-2   | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                                                                                                                                        |                                                                                                                      |                                                 |
| Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y de gas ácido.                             | THW-LS  | 75 °C                            | Lugares secos y mojados                                                                                                                                        | Termoplástico resistente a la humedad, al calor, retardante a la flama, de emisión reducida de humos y de gas ácido. | Ninguno                                         |
| Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor, a la humedad y retardante a la flama.                                                  | THWN    | 75 °C                            | Lugares secos y húmedos                                                                                                                                        | Termoplástico con cubierta de nylon, resistente al calor, a la humedad y retardante a la flama.                      | Cubierta de nylon o equivalente                 |
|                                                                                                                                                  | THWN-2  | 90 °C                            |                                                                                                                                                                |                                                                                                                      |                                                 |
| Termoplástico resistente a la humedad y retardante a la flama.                                                                                   | TW      | 60 °C                            | Lugares secos y mojados                                                                                                                                        | Termoplástico resistente a la humedad y retardante a la flama.                                                       | Ninguno                                         |
| Cable monoconductor subterráneo y circuitos derivados de un solo conductor (para cables de tipo UF con más de un conductor, ver el Artículo 340) | UF      | 60 °C                            | Ver el Artículo 340                                                                                                                                            | Resistente a la humedad <sup>4</sup>                                                                                 | Integrado con el aislante                       |
|                                                                                                                                                  |         | 75 °C <sup>5</sup>               |                                                                                                                                                                | Resistente a la humedad y al calor                                                                                   |                                                 |

Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)

| Nombre genérico                                                      | Tipo   | Temperatura máxima del conductor | Aplicaciones previstas                               | Aislamiento                                                          | Recubrimiento externo <sup>1</sup>                |
|----------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Cable de acometida subterránea de un solo conductor                  | USE    | 75 °C <sup>5</sup>               | Ver el Artículo 340 <sup>6</sup>                     | Resistente al calor y a la humedad                                   | Recubrimiento no metálico resistente a la humedad |
|                                                                      | USE-2  | 90 °C                            | Lugares secos y mojados                              |                                                                      |                                                   |
| Termofijo retardante a la flama                                      | XHH    | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                              | Termoplástico retardante a la flama                                  | Ninguno                                           |
| Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad | XHHW   | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                              | Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad | Ninguno                                           |
|                                                                      |        | 75 °C                            | Lugares mojados                                      |                                                                      |                                                   |
| Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad | XHHW-2 | 90 °C                            | Lugares secos y mojados                              | Termofijo retardante a la flama y resistente al calor y a la humedad | Ninguno                                           |
| Tetrafluoroetileno modificado con etileno.                           | Z      | 90 °C                            | Lugares secos y húmedos                              | Tetrafluoroetileno modificado con etileno.                           | Ninguno                                           |
|                                                                      |        | 150 °C                           | Lugares secos y aplicaciones especiales <sup>2</sup> |                                                                      |                                                   |
| Tetrafluoroetileno modificado con etileno.                           | ZW     | 75 °C                            | Lugares húmedos                                      | Tetrafluoroetileno modificado con etileno.                           | Ninguno                                           |
|                                                                      |        | 90 °C                            | Lugares secos y mojados                              |                                                                      |                                                   |
|                                                                      |        | 150 °C                           | Lugares secos y aplicaciones especiales <sup>2</sup> |                                                                      |                                                   |
|                                                                      | ZW-2   | 90 °C                            | Lugares secos y mojados                              |                                                                      |                                                   |

NOTAS:

1. Algunos aislamientos no requieren recubrimiento exterior.
2. Cuando las condiciones de diseño requieren que la temperatura máxima de operación del conductor sea superior a 90 °C.
3. Para circuitos de señalización que permiten un aislamiento de 300 volts.
4. Incluye una cubierta integral.
5. Para limitación de ampacidad, véase 340-80.
6. Para cables con un recubrimiento no metálico sobre conductores individualmente aislados con hule con una cubierta de aluminio o una cubierta de plomo o en cables multiconductores con algún tipo de estas cubiertas metálicas, no se requiere que sean retardantes de la flama. Para los cables de tipo MC, véase 330-104.

Para los cables de recubrimiento no metálico, véase el Artículo 334, Parte C.

Para los cables tipo UF, véase el Artículo 340, Parte C

Se permite que los tipos de cables para utilizarse en temperaturas de operación 90° C en lugares secos y mojados se marquen con el sufijo “-2” por ejemplo: THW-2, XHHW-2, RHW-2, etc.

Los cables con aislamiento termofijo, sin contenido de halógenos, pueden tener un grabado “LSOH”.

Los cables que se graban como “LS” son no propagadores del incendio y de baja emisión de humos.

Fuente: NOM-001-SEDE

## 2.11. TRANSFORMADORES DE INSTRUMENTOS<sup>10</sup>

### 2.11.7.1. Transformador de corriente

Es el transformador diseñado para suministrar la corriente adecuada en aparatos de medición, protección o ambos, en el cual la corriente secundaria, en condiciones normales de operación, es proporcional a la corriente primaria y desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero ver Ilustración 2.35.

La utilización de transformadores de corriente presenta las ventajas siguientes:

- Aísla eléctricamente los instrumentos de medición y protección del circuito primario
- Permite la normalización de las características de operación de los instrumentos transformando la corriente en valores adecuados a los instrumentos normales, generalmente estos valores son 5 amperes
- Da mayor seguridad al personal

Para seleccionar transformadores de corriente se deben determinar las siguientes características, las cuales para su estudio las dividiremos en:

- Características normativas, dentro de las que se incluyen los valores con los cuales los fabricantes deben diseñar y garantizar el equipo, en base a las recomendaciones de las normas nacionales e internacionales.
- Características de operación, dentro de éstas, el diseñador deberá incluir en las especificaciones respectivas los datos

Ilustración 2.35 Transformador de instrumentos TC



correspondientes a la forma en que va a ser utilizado el equipo.

- Condiciones ambientales, para que éstas no afecten la operación correcta del equipo, se deberá informar al fabricante, durante la elaboración de las especificaciones, las condiciones existentes en el sitio donde se instalará el equipo.

### 2.11.7.2. Transformador de potencial

Es el transformador diseñado para suministrar la tensión adecuada a los instrumentos de medición, protección o ambos, en el cual la tensión secundaria, en las condiciones normales de operación, es proporcional a la tensión primaria desfasada respecto a ella un ángulo cercano a cero. El transformador de potencial es un transformador convencional cuyo devanado primario puede ser co-

<sup>10</sup> Fuente: NFR-027-CFE, NMX-J-109, NMX-J-168, NFR-026

nectado a un sistema eléctrico, tanto entre fases, como entre fase y tierra. Los transformadores de potencial ofrecen las mismas ventajas que los de corriente, aíslan eléctricamente los instrumentos del circuito primario, permiten normalizar las características de los instrumentos, (transformar la tensión en valores adecuados a los instrumentos normales, generalmente estos valores son 120 volts) y dan mayor seguridad al personal.

### 2.11.1. TENSIÓN

#### 2.11.1.1. Transformador de potencial

##### ***Tensión nominal primaria. ( $V_p$ )***

La tensión nominal primaria de un transformador de potencial es el valor de tensión primaria sobre el cual se basan sus especificaciones de operación.

El STD C57.13 del IEEE indica varios grupos de transformadores de potencial, de acuerdo a sus características de aislamiento y tensión nominal primaria, a continuación se describen los tres primeros grupos que son los de mayor aplicación.

**Grupo 1.-** Los transformadores de este grupo están diseñados para aplicación con 100% de tensión nominal primaria en el devanado primario, cuando se conectan de línea a línea o de línea a tierra.

Por ejemplo, un transformador de potencial de 2 400Δ/4 160Y puede ser conectado de línea a línea en un sistema de 2 400 V o entre línea a neutro en un sistema de 4 160 V.

**Grupo 2.-** Los transformadores de potencial de este grupo, están diseñados básicamente para

servicio de línea a línea, pueden ser usados entre línea y neutro o línea a tierra a una tensión en el devanado igual a la tensión nominal primaria o dividido por 1.732.

Por ejemplo, un transformador de 2 400Δ/2 400 Y puede ser conectado en un sistema de 2 400 V, pero está limitado por aislamiento a una conexión de línea a neutro de la misma tensión del sistema (1 386 V de línea a neutro).

**Grupo 3.-** Los transformadores de potencial del grupo 3 son para conectarse solamente de línea a tierra y tienen dos secundarios, su terminal de neutro puede ser aislada o aterrizada.

La Tabla 2.124 indica las tensiones nominales primarias, relaciones de transformación y niveles de aislamiento al impulso para los transformadores de potencial de los grupos anteriormente descritos.

##### ***Tensión nominal secundaria ( $V_s$ )***

Los valores de las tensiones nominales secundarias son de 120 y 69.3 V.

##### ***Factor de sobretensión***

Todos los transformadores de potencial deben ser capaces de operar continuamente a frecuencia nominal con una tensión igual a 1.10 veces su tensión nominal.

Los transformadores de potencial del grupo 1, deben soportar además en condiciones de emergencia, una tensión igual a 1.25 veces la tensión nominal, con una carga del 64% de la capacidad térmica del transformador, sin exceder una elevación de temperatura de (75°C).

Los transformadores del grupo 3, para sistemas hasta de 161 kV entre fases deben ser capaces, además, de operar durante 1 minuto con una tensión igual a 1.73 veces la tensión nominal entre fases y tierra, sin exceder una elevación de temperatura de (175°C).

#### ***Nivel nominal de aislamiento y nivel básico de aislamiento al impulso***

Los niveles nominales de aislamiento están dados en la Tabla 2.124 para los tres grupos de transformadores.

El nivel nominal de aislamiento debe estar asociado al nivel básico de aislamiento al impulso cuyos valores están dados en la Tabla 2.124.

##### **2.11.1.2. Transformador de corriente**

La tensión nominal de aislamiento de un TC, debe ser cuando menos igual a la tensión más elevada del sistema en que se utilice. La elevación de la tensión nominal de aislamiento depende igualmente de las condiciones especiales de la instalación elegida ver Tabla 2.125.

En climas salinosos, tropicales, con neblina o instalaciones a altitudes superiores de 1 000 m, se deberá prever un nivel de aislamiento superior.

#### **2.11.2. CORRIENTE**

##### **2.11.2.1. Transformadores de corriente**

"Corriente nominal primaria ( $I_p$ )". El valor eficaz de la corriente primaria sobre la cual se basa el funcionamiento del transformador.

Se calcula de acuerdo al consumo de carga conectada al sistema, seleccionándose generalmente el valor normalizado superior a la corriente nominal de la instalación. En la Tabla 2.125 y se muestran los valores normalizados de corriente primaria para transformadores de corriente, así como las relaciones de transformación.

#### ***Corriente nominal secundaria***

Es el valor de corriente que se obtiene de dividir la corriente nominal primaria entre la relación nominal de transformación y su valor normalizado es generalmente de 5 A., pero puede ser empleada una corriente nominal de 1 Amp, siempre que así se especifique.

#### ***Corriente nominal térmica continua ( $I_{th}$ )***

La corriente nominal térmica continua, debe ser 1.2 veces, la corriente nominal primaria, excepto en transformadores con rango ampliado de corriente, es decir, aquellos que satisfagan las siguientes condiciones:

Cuando la corriente térmica continua es superior a 1.2 veces la corriente nominal.

Cuando los límites del factor de corrección de la relación y del error de fase, para el 100% de la corriente nominal, se cumplan también para corrientes primarias iguales a la corriente nominal térmica continua.

#### **2.11.3. RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN**

Las relaciones de transformación preferentes están dadas en la Tabla 2.125 y Tabla 2.126.



#### 2.11.4. CLASE DE PRECISIÓN

La clase de precisión para TC's se designa por el máximo error admisible, en por ciento, que el transformador pueda introducir en la medición, operando con su corriente primaria con carga y frecuencia nominales, siempre y cuando al 10 por ciento de la corriente nominal primaria los errores no sean mayores de doble de los límites fijados para el 100 por ciento. Las clases de precisión normales para medición son: 0.3, 0.6 y 1.2. Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con una o varias cargas nominales de precisión.

Las clases de precisión para protección se indican en la Tabla 2.127.

##### ***Límites de factores de corrección de la relación (FCR) y errores de fase ( $\beta$ ) para TC's***

Los límites de los factores de corrección de la relación y de los errores de fase (para transformadores con clase de precisión entre 0.1 y 1.2 inclusive), serán tales que el transformador, operando a su corriente nominal primaria y con frecuencia y carga nominales, no deberá introducir en la medición de potencia un error mayor que el que designa su clase de precisión.

##### ***Clase de precisión y carga nominal secundaria para TP***

Precisiones nominales son: 0.3, 0.6 y 1.2. Las clases de precisión se designan por el máximo error admisible expresado en por ciento, que el transformador puede introducir en la medición de potencia operando con su tensión nominal primaria y a su frecuencia nominal.

Cada clase de precisión especificada debe asociarse con una o varias cargas nominales de precisión.

Un mismo transformador puede cumplir con varias clases de precisión según la carga que se le asocie.

Un mismo devanado puede tener varias cargas nominales de precisión, con iguales o diferentes clases de precisión.

Los valores, las designaciones y las características de las cargas nominales están dados en la Tabla 2.126 y Tabla 2.128.

Para tensiones nominales primarias distintas a las tabuladas, la característica de carga debe variarse en proporción directa al cuadrado de la relación de tensión nominal secundaria en cuestión, entre la tensión tabulada, a fin de conservar los volts, amperes y el factor de potencia.

$$\frac{VA_1}{VA_2} = \left[ \frac{V_1}{V_2} \right]^2 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

##### ***Límites de los factores de corrección de la relación (FCR) y de los errores de fase ( $\beta$ ) para TP***

Los límites de los factores de corrección de la relación y de los errores de fase, son tales, que el transformador operando a su tensión nominal primaria y con frecuencia y cargas nominales no puede introducir en la medición de potencia un error mayor que el que designa a su clase de precisión.

Para mediciones de potencia, de energía o de cualquier otro tipo en que intervengan al mismo

tiempo los sectores de corriente y de tensión, el error que el transformador introduce en la medición está dado por:

$$E = 100(1 - FCR) + 0.029\gamma \tan \varphi \quad \text{Ecuación 2.5}$$

donde:

|           |   |                                                         |
|-----------|---|---------------------------------------------------------|
| E         | = | Error introducido en la medición                        |
| FCR       | = | Factor de corrección de la relación                     |
| $\gamma$  | = | Error de fase en minutos                                |
| $\varphi$ | = | Angulo cuyo coseno es el factor de potencia del sistema |

### **Capacidad térmica nominal**

Se debe especificar a cada transformador la máxima carga térmica en volt amperes. Esta carga debe ser cuando menos igual a la máxima carga nominal de precisión especificada para el transformador.

En los transformadores que tienen 2 devanados secundarios a un secundario con derivaciones, se debe especificar la capacidad térmica para cada devanado o cada derivación.

### **Capacidad de corto circuito**

Los transformadores de potencial deben ser capaces de soportar, durante un segundo los esfuerzos mecánicos y térmicos debido a un corto circuito en las terminales secundarias, manteniendo en las terminales primarias su tensión nominal, sin que la elevación de temperatura de los devanados exceda de 250°C para la clase de aislamiento 130.

## **2.11.5. CARGA**

### **Carga nominales**

En la Tabla 2.128 se indica la designación de las cargas nominales para medición y protección en transformadores de corriente.

### **Muestra del cálculo de carga de medición TC**

Supóngase que tenemos conectado a un transformador de corriente un wathorímetro, várimetro y un amperímetro, la distancia que hay entre el transformador de corriente y el tablero de medición es de 200 metros.

Los datos de consumo del equipo de medición se obtienen del fabricante, en la Tabla 2.129 se indican los consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de corriente.

La carga total se calcula con la Ecuación 2.6.

$$P = a' + b \cdot j \quad \text{Ecuación 2.6}$$

La caída de tensión provocada por esta carga se calcula con la Ecuación 2.7.

$$e = \frac{P}{I} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

La impedancia equivalente se obtiene con la Ecuación 2.8.

$$Z_{eq} = \frac{e}{I} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

donde:

- a = Consumo de carga activa en (Watts)
- b = Consumo de carga reactiva en (VAR)
- e = Caída de tensión en volts
- P = Carga total
- I = Corriente consumida
- $Z_{eq}$  = Impedancia equivalente

Sustituyendo los valores de la Tabla 2.130 en la Ecuación 2.6 tenemos lo siguiente a 5A.

$$P = 2.3 + 4.8j = 5.322 \angle 64.39^\circ \text{ VA}$$

Ahora calculamos la caída de tensión con la Ecuación 2.7 y se tiene el siguiente valor.

$$e = \frac{P}{I} = \frac{5.322 \angle 64.39^\circ}{5} = 1.0644 \angle 64.39^\circ \text{ Volts}$$

Y la impedancia equivalente es:

$$Z_{eq} = \frac{e}{I} = \frac{1.0644 \angle 64.39^\circ}{5} = 0.2128 \angle 64.39^\circ \Omega = 0.092 + 0.192j \Omega$$

El conductor utilizado es calibre 12 AWG a 50°C y su impedancia en los 200 m es:

$$Z_{cond} = 1.216 + 0j \Omega$$

La impedancia total que será conectada al transformador es:

$$Z_{total} = Z_{eq} + Z_{cond} = 0.092 + 0.192j + 1.216 + 0j = 2.136 + 0.192j \Omega$$

La carga mínima designada a 5 amp es: 100 A. de carga nominal y 2 ohms de resistencia, a 9.2 de inductancia y 4.0 de impedancia.

### ***Ejemplo muestra de cálculo de carga de protección***

Supóngase que se tiene conectado al transformador de corriente un relevador de sobrecorriente de fase con retardo de tiempo (5I) y un relevador de sobrecorriente de neutro con retardo de tiempo (5IN).

Los datos de consumo de los relevadores se obtienen del fabricante, ver Tabla 2.131.

Utilizando el mismo método de cálculo del ejemplo anterior procedemos a realizar los cálculos correspondientes.

$$P = 17.5 + 65.4j = 67.7 \angle 75.019^\circ \text{ VA}$$

$$e = \frac{P}{I} = \frac{67.7 \angle 75.019^\circ}{5} = 13.54 \angle 75.019^\circ \text{ Volts}$$

$$Z_{eq} = \frac{e}{I} = \frac{13.54 \angle 75.019^\circ}{5} = 2.708 \angle 75.019^\circ \Omega = 0.7 + 2.62j \Omega$$

$$Z_{cond} = 1.216 + 0j \Omega$$

La impedancia total que será conectada al transformador es:

$$Z_{total \text{ cond}} = 2 \times Z_{cond} = 2 (1.216 + 0j) = 2.432 + 0j \Omega$$

La impedancia total que será conectada al secundario del transformador es:

$$Z_{\text{total}} = Z_{\text{eq}} + Z_{\text{total cond}} = (0.7 + 2.62j) + (2.432 + 0j) \\ = 3.132 + 2.62j \Omega$$

La carga mínima designada a 5 A. es: 200 A. de carga nominal, 4.2 ohms de resistencia, 18 de inductancia y 8.0 de impedancia.

La precisión de los transformadores, se garantiza para cargas a medir cuyos factores de potencia están comprendidos entre 1.0 y 0.6 atrasados. Para mediciones de potencia de energía o cualquier otro tipo en que intervengan al mismo tiempo los vectores de corriente y de tensión, el error que el transformador introduce en la medición está dado por la Ecuación 2.9.

$$E = 100 \times (1 - \text{FCR}) + 0.029 \times \beta \times \tan \varphi$$

Ecuación 2.9

donde:

- E = Carga total
- FCR = Corriente consumida
- $\beta$  = Impedancia equivalente
- $\varphi$  = Angulo cuyo coseno es el factor de potencia de la carga por medir

Dentro del rango de factores de potencia de la carga para la que se garantiza la precisión de los transformadores, el de 0.6 atrasado es el que mayor influencia tiene sobre el error de medición E, según la fórmula anterior, por lo que los límites permisibles del error de fase  $\beta$  para garantizar la precisión están dadas por:

$$\beta = 26 \times [E_a - 100 \times (1 - \text{FCR})]$$

Ecuación 2.10

Resultante de considerar  $\tan \varphi = \cos^{-1} (0.6) = 1.33$  y en la cual  $E_a$  es el error admisible en %, según la clase de precisión ver Tabla 2.127.

Las líneas oblicuas en la Ilustración 2.36 representan estos valores límites de beta contra los valores de FCR. Para mediciones de corriente en aparatos en que se considera sólo la magnitud de ella, sin importar su relación con el vector tensión, los límites del factor de corrección de la relación están dados por las líneas horizontales de las gráficas de la Ilustración 2.36 a), Ilustración 2.36 b) e Ilustración 2.36 c) que corresponden a la fórmula:

$$E_a = [100(1 - \text{FCR})] \quad \text{Ecuación 2.11}$$

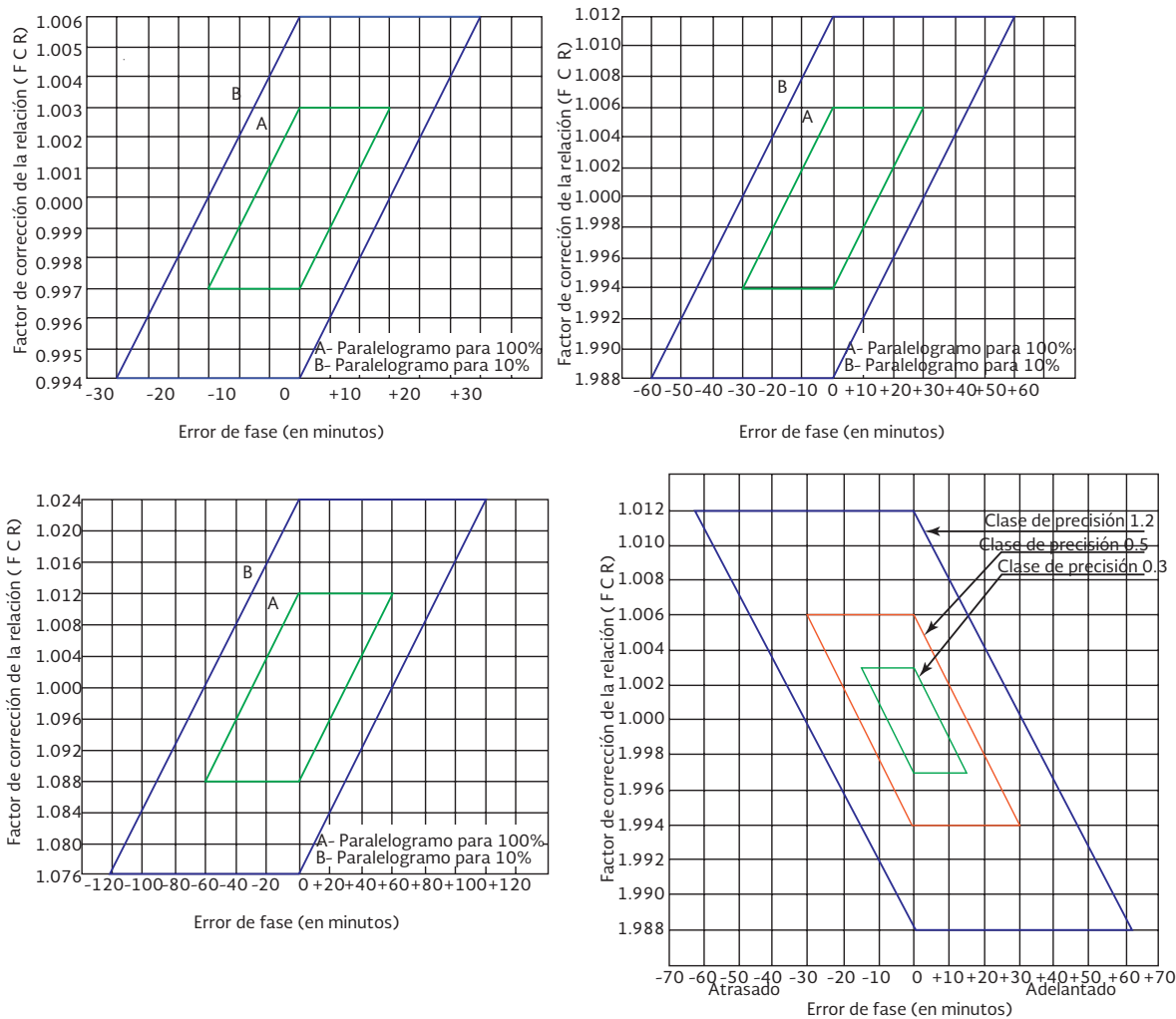
La carga nominal de un transformador de potencial, es la suma de las potencias nominales de todos los aparatos conectados al secundario. Se tienen en cuenta las caídas de tensión en las líneas, si las distancias entre el transformador y los instrumentos de medición son importantes.

### ***Cálculo de carga sobre un transformador de potencial***

En el lado secundario de un transformador de potencial tenemos 120 volts, al cual tenemos conectada la siguiente carga: voltímetro, wattmetro y un wathhorímetro.

Los datos de consumo de la carga se obtienen del fabricante se indican los consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de potencial, ver Tabla 2.132, la carga se designa con la letra X. Cada clase de precisión especificada deberá asociarse con la carga nominal, para el ejemplo anterior queda: 0.6 X.

Ilustración 2.36 Límite de factor de corrección de la relación FCR y del error de fase. a) Clase 0.3 b) Clase 0.6 c) Clase 1.2 d) Clase de precisión nominales para transformadores de potencial utilizados en medición



Fuente: NMX-J-168 y NMX-J-109

La precisión de los transformadores de potencial se garantiza para cargas a medir cuyos factores de potencia del sistema están comprendidos entre 1.0 y 0.6 atrasados, a una tensión entre 90 y 110% de la tensión nominal secundaria, para las cargas nominales de precisión especificados para cada transformador, incluyendo vacío (carga cero).

Dentro de los límites de factor de potencia del sistema, para los que se garantiza la precisión de los transformadores, es el 0.6 atrasado el que ma-

yor influencia tiene sobre el error de medición  $E$ , según la fórmula anterior, por lo que los límites permisibles del error de fase  $\gamma$ , para garantizar la precisión, están dadas por la fórmula siguiente:

$$\gamma = 26[100(1 - FCR) - E_a] \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Que resulta de considerar  $\tan \phi = 1.33$  y en el cual  $E_a$  es el error admisible expresado en por ciento para las clases de precisión.

Los paralelogramos de la Ilustración 2.36 d) representan los valores límites del error de fase, contra los valores del factor de corrección de la relación, de tal manera que un punto que tenga como coordenada a dicha pareja de valores, debe caer dentro del paralelogramo correspondiente a la clase de precisión de que se trate.

## 2.11.6. CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

### 2.11.6.1. Transformador de corriente

#### ***Tipo de servicio***

Por su instalación, los transformadores de instrumentos se pueden clasificar en dos tipos.

Para servicio interior y para intemperie. Por lo general y por razones económicas, las instalaciones de baja y media tensión, hasta 25 kV, se diseñan para servicio interior y para exterior son tensiones desde 34.5 kV en adelante.

#### ***Tipos de construcción***

Con base en las características de su devanado primario y considerando el montaje vertical, horizontal o invertido, los transformadores de corriente se clasifican como sigue:

**Tipo devanado.-** En este tipo, el devanado primario consiste de una o más espiras que rodean uno o más núcleos, los devanados primario y secundario se aíslan uno del otro, así como del o de los núcleos, ensamblándose como una estructura integral. Este tipo de construcción deberá especificarse para transformadores de corriente con devanado de relación doble o triple.

**Tipo barra.-** Es aquel cuyo devanado primario está constituido por un conductor recto en forma de barra, varilla o tubo que pasa a través de la ventana del núcleo; los devanados primario y secundario se encuentran aislados entre sí y están permanentemente fijos al circuito magnético. Este tipo deberá especificarse en caso de requerirse transformadores de corriente de 115 kV entre fases o más, con devanado de relación simple.

#### ***Tipo de aislamiento***

Dependiendo de la tensión nominal de operación los transformadores de corriente pueden tener tres tipos de aislamiento:

- Aire (0-600 V)
- Resina epóxica (0-34.5 kV)
- Aceite (85-400 kV)

Para media tensión, los transformadores para servicio interior son fabricados con aislamiento en resina sintética, los aparatos para instalaciones exteriores son generalmente contruidos con aislamiento aceite porcelana, aunque también se fabrican con aislamiento en seco, se deben especificar preferentemente los primeros, dado que los aislamientos a base de resinas epóxicas al ser expuestos a condiciones ambientales extremas han presentado grietas causadas por envejecimiento prematuro de los materiales usados, ocasionando fallas del equipo lo que representa un gran riesgo para las instalaciones.

#### ***Número de devanados***

El devanado primario puede tener relación de transformación simple y doble, en algunos ca-

sos especiales hasta relación triple, la decisión de tener una relación de transformación simple o doble, obedece por lo general a los aspectos de expansión o crecimiento de la instalación eléctrica de que se trate. Los diversos valores de los transformadores de relación doble o triple se obtienen mediante conexiones serie-paralelo.

Los transformadores de corriente pueden solicitarse con uno, dos, tres y hasta cuatro devanados secundarios con circuito magnético independiente y devanado primario común; el hecho de tener circuitos magnéticos independientes permite asignar una función específica a cada devanado sin que la operación de uno afecte a los otros, prácticamente se comportan como transformadores independientes, siempre se deberá indicar el uso específico de cada devanado (medición o protección o ambos).

#### 2.11.6.2. Transformador de potencial

##### ***Tipo de servicio***

Al igual que los transformadores de corriente, los de potencial se clasifican en: Servicio interior y exterior

##### ***Tipo de construcción***

El tipo de construcción en transformadores de potencial debe ser en base a devanados primarios y secundarios en un circuito magnético.

##### ***Tipo de aislamiento***

Los transformadores de potencial se fabrican con tres tipos de aislamiento:

- En aire (0-600 V)
- En resina epóxica (0-34.5 kV)

- En aceite con envolvente de porcelana (85-400 kV)

Dependiendo de la tensión nominal de operación y del tipo de servicio, deberán seleccionarse, para bajas tensiones y servicio interior, los de aislamiento en aire y los de resinas epóxicas pero por regla general, para sistemas cuya tensión nominal entre fases sea 85 kV o más, se deberán especificar transformadores de potencial sumergidos en aceite y con envolvente de porcelana.

#### 2.11.7. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

##### 2.11.7.1. Transformador de corriente

##### ***Temperatura ambiente de operación***

Se consideran dos clases de temperatura ambiente:

- a) 30°C promedio, para un período de 24 horas, con un máximo de 40°C
- b) 55°C como promedio, para el interior de tablero

La temperatura mínima para transformadores tipo intemperie es de 25°C y para transformadores tipo interior de -5°C.

Si la temperatura ambiente del lugar de utilización del transformador sobrepasa los valores indicados, el incremento de temperatura dado en la Tabla 2.133 debe reducirse proporcionalmente al exceso de temperatura ambiente.

##### ***Altitud de operación***

Los transformadores de corriente deben de diseñarse para operar a una altitud de 1000 m.s.n.m. En caso de que en la hoja de datos se indique una altitud mayor, deben hacerse las correcciones

apropiadas de acuerdo a los factores de corrección de la Tabla 2.134.

### **Condiciones especiales**

Existen algunas condiciones especiales de servicio que deben tomarse en cuenta en la selección de los transformadores.

Ejemplo de dichas condiciones son:

- a) Temperaturas ambientales, mayores a las ya especificadas
- b) Humo o vapores dañinos, polvo excesivo o abrasivo, mezclas explosivas de polvo o gas, vapor, partículas de sales, humedad excesiva o goteo
- c) Condiciones inadecuadas de transporte o almacenaje
- d) Vibraciones excesivas, choques o golpeteo
- e) Limitaciones de espacio y ventilación

Para un transformador que trabaja en altitudes superiores a 1000 m.s.n.m. se aplica la Tabla 2.135.

#### **2.11.7.2. Transformador de potencial**

### **Temperatura ambiente**

Se consideran dos clases de temperatura ambiente:

- Para un período de 24 horas un promedio de 30° C y un máximo de 40° C
- Para el interior de los tableros un promedio de 55° C

### **Altitud de operación**

Los transformadores de potencial deben de diseñarse para operar a una altitud de 1000 m.s.n.m. En caso de que en la hoja de datos se indique una altitud mayor, deben hacerse las correcciones apropiadas de acuerdo a los factores de corrección de la Tabla 2.136.

### **Condiciones especiales**

La máxima elevación de temperatura, sobre la temperatura ambiente, de los transformadores de potencial, no debe exceder de un valor dado en la Tabla 2.136 según la clase de aislamiento, cuando el transformador trabaja con una carga correspondiente a la capacidad térmica especificada, a frecuencia nominal y al 110 por ciento de la tensión nominal.

La temperatura de trabajo es la generada en el interior de los transformadores de potencial y por lo tanto excede la del medio ambiente. Los transformadores de potencial deben trabajar satisfactoriamente a las siguientes temperaturas mínimas:

- Transformadores tipo intemperie: 25° C
- Transformadores tipo interior : 5° C

Humos o vapores dañinos, polvo excesivo o abrasivo, mezclas explosivas de polvo o gases, vapor, partículas de sales, humedad excesiva o goteo, vibraciones excesivas, choques o golpeteo y condiciones inadecuadas de transporte o almacenaje.



Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial

| Niveles de aislamiento                                                                                            | kV        | Datos de placa de relaciones de transformadores preferentes | Tensiones nominales primarias preferentes | Tensión usual de corto circuito | Conexión preferible del transformador | Prueba de tensión aplicada a frecuencia nominal 60 Hz. | Pruebas dieléctricas y tensión de impulso |                       |                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                                                                   |           |                                                             |                                           |                                 |                                       |                                                        | Onda corta                                |                       | Nivel básico de aislamiento al impulso y onda plana |
|                                                                                                                   |           |                                                             |                                           |                                 |                                       |                                                        | Cresta                                    | Tiempo mínimo de arco |                                                     |
| Columna 1                                                                                                         | Columna 2 | Columna 3                                                   | Columna 4                                 | Columna 5                       | Columna 6                             | Columna 7                                              | Columna 8                                 | Columna 9             | Columna 9                                           |
| Grupo 1: 0.6 a 15 kV, Aislamiento completo, Limite de tensión $V = \sqrt{3} \times \text{lim de tensión } \Delta$ |           |                                                             |                                           |                                 |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 0.6                                                                                                               | 01:01     | 120/208 Y                                                   | 120                                       | Δ o Y                           | 4                                     | 12                                                     | 1                                         | 10                    | 10                                                  |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 208                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 240                                       | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 416                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 1.2                                                                                                               | 02:01     | 240/416 Y                                                   | 300                                       | Δ o Y                           | 4                                     | 12                                                     | 1                                         | 10                    | 10                                                  |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 520                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 120                                       | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 208                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 1.2                                                                                                               | 02:01     | 240/416 Y                                                   | 240                                       | Δ o Y                           | 10                                    | 36                                                     | 1                                         | 30                    | 30                                                  |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 416                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 300                                       | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 520                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 1.2                                                                                                               | 2.5:1     | 300/520 Y                                                   | 480                                       | Δ o Y                           | 10                                    | 36                                                     | 1                                         | 30                    | 30                                                  |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 832                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 600                                       | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 400                                       | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 5.0                                                                                                               | 04:01     | 480/832 Y                                                   | 2400                                      | Δ o Y                           | 19                                    | 69                                                     | 1.5                                       | 60                    | 60                                                  |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 4160                                      | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 4200                                      | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 7280                                      | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 8.7                                                                                                               | 35:1      | 4200/7280 Y                                                 | 4600                                      | Δ o Y                           | 26                                    | 88                                                     | 1.6                                       | 75                    | 75                                                  |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 8320                                      | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 7200                                      | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 12470                                     | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 15L                                                                                                               | 60:1      | 7200/12470 Y                                                | 8400                                      | Δ o Y                           | 34                                    | 110                                                    | 1.8                                       | 95                    | 95                                                  |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 14560                                     | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 7200                                      | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 12470                                     | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
| 15H                                                                                                               | 70:1      | 8400/14560 Y                                                | 8400                                      | Δ o Y                           | 34                                    | 130                                                    | 2                                         | 110                   | 110                                                 |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 14560                                     | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 7200                                      | Δ o Y                           |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |
|                                                                                                                   |           |                                                             | 12470                                     | Solo Y                          |                                       |                                                        |                                           |                       |                                                     |

Fuente: NMX-J-168.

Tabla 2. 124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación)

| Niveles de aislamiento                                                               | kV | Datos de placa relaciones de transformadores preferentes | Tensiones nominales primarias preferentes | Tensión usual de corto circuito | Conexión preferible del transformador | Prueba de tensión aplicada a frecuencia nominal 60 Hz. | Pruebas dieléctricas y tensión de impulso |            |                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                                      |    |                                                          |                                           |                                 |                                       |                                                        | Cresta                                    | Onda corta | Nivel básico de aislamiento al impulso y onda plana |
|                                                                                      |    |                                                          |                                           |                                 |                                       |                                                        |                                           |            |                                                     |
| Columna 1                                                                            |    | Columna 2                                                | Columna 3                                 | Columna 4                       | Columna 5                             | Columna 6                                              | Columna 7                                 | Columna 8  | Columna 9                                           |
| Grupo 2 0.6 a 69 kV, Aislamiento Completo, Límite de Tensión Y o Límite de Tensión Δ |    |                                                          |                                           |                                 |                                       |                                                        |                                           |            |                                                     |
| 4                                                                                    |    | 01:01                                                    | 120/120 Y                                 | 120                             | Δ o Y                                 | 4                                                      | 12                                        | 1          | 10                                                  |
|                                                                                      |    | 02:01                                                    | 240/240 Y                                 | 240                             | Δ o Y                                 | 4                                                      | 12                                        | 1          | 10                                                  |
|                                                                                      |    | 2.5:1                                                    | 300/300 Y                                 | 300                             | Δ o Y                                 | 4                                                      | 12                                        | 1          | 10                                                  |
|                                                                                      |    | 04:01                                                    | 480/480 Y                                 | 480                             | Δ o Y                                 | 4                                                      | 12                                        | 1          | 10                                                  |
|                                                                                      |    | 05:01                                                    | 600/600 Y                                 | 600                             | Δ o Y                                 | 4                                                      | 12                                        | 1          | 10                                                  |
| 2.5                                                                                  |    | 20:01                                                    | 2 400/2 400 Y                             | 2 400                           | Δ o Y                                 | 15                                                     | 54                                        | 1.25       | 45                                                  |
| 5                                                                                    |    | 40:01:00                                                 | 4 800/4 800 Y                             | 4 800                           | Δ o Y                                 | 19                                                     | 69                                        | 1.5        | 60                                                  |
| 8.7                                                                                  |    | 60:01:00                                                 | 7 200/7 200 Y                             | 7 200                           | Δ o Y                                 | 26                                                     | 80                                        | 1.6        | 75                                                  |
| 15L                                                                                  |    | 100:01:00                                                | 12 000/12 000 Y                           | 12 000                          | Δ o Y                                 | 34                                                     | 110                                       | 1.8        | 95                                                  |
|                                                                                      |    | 120:01:00                                                | 14 400/14 400 Y                           | 14 400                          | Δ o Y                                 | 34                                                     | 110                                       | 1.8        | 95                                                  |
| 15H                                                                                  |    | 100:01:00                                                | 12 000/12 000 Y                           | 12 000                          | Δ o Y                                 | 34                                                     | 130                                       | 2          | 110                                                 |
|                                                                                      |    | 120:01:00                                                | 14 400/14 400 Y                           | 14 400                          | Δ o Y                                 | 34                                                     | 130                                       | 2          | 110                                                 |
| 25                                                                                   |    | 200:1                                                    | 24000/24000 Y                             | 2 4000                          | Δ o Y                                 | 50                                                     | 175                                       | 3          | 150                                                 |
| 34.5                                                                                 |    | 300:1                                                    | 34500/34500 Y                             | 3 4500                          | Δ o Y                                 | 70                                                     | 230                                       | 3          | 200                                                 |
| 16                                                                                   |    | 400:1                                                    | 46000/46000 Y                             | 46000                           | Δ o Y                                 | 95                                                     | 290                                       | 3          | 250                                                 |
| 69                                                                                   |    | 600:1                                                    | 49000/49000 Y                             | 69000                           | Δ o Y                                 | 140                                                    | 400                                       | 3          | 350                                                 |

Fuente: NMX-J-168.

Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación)

| Niveles de aislamiento                                                                | kV | Datos de placa relaciones de transformadores preferentes | Tensiones nominales primarias preferentes | Tensión usual de corto circuito | Conexión preferible del transformador | Prueba de tensión aplicada a frecuencia nominal 60 Hz. | Pruebas dieléctricas y tensión de impulso |                         |                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                                                                       |    |                                                          |                                           |                                 |                                       |                                                        | Onda corta                                |                         | Nivel básico de aislamiento al impulso y onda plana |
|                                                                                       |    |                                                          |                                           |                                 |                                       |                                                        | Cresta                                    | Tiempo mínimo de arqueo |                                                     |
| Columna 1                                                                             |    | Columna 2                                                | Columna 3                                 | Columna 4                       | Columna 5                             | Columna 6                                              | Columna 7                                 | Columna 8               | Columna 9                                           |
| Grupo 3: 25 a 345 kV aislamiento reducido para conectar una terminal directa a tierra |    |                                                          |                                           |                                 |                                       |                                                        |                                           |                         |                                                     |
| 25                                                                                    |    | 120 & 200:1                                              | 14 400 para 25 000 Y                      | 24 000                          | Solo Y                                | 50                                                     | 175                                       | 3                       | 150                                                 |
| 34.5                                                                                  |    | 175 & 300:1                                              | 20 125 para 34 500 Y                      | 34 500                          | Solo Y                                | 70                                                     | 230                                       | 3                       | 200                                                 |
| 46                                                                                    |    | 240 & 400:1                                              | 27 600 para 46 000 Y                      | 46 000                          | Solo Y                                | 95                                                     | 290                                       | 3                       | 250                                                 |
| 69                                                                                    |    | 350 & 600:1                                              | 40 250 para 69 000 Y                      | 69 000                          | Solo Y                                | 140                                                    | 400                                       | 3                       | 350                                                 |
| 92                                                                                    |    | 800 & 800:1                                              | 55 200 para 92 000 Y                      | 85 000                          | Solo Y                                | 185                                                    | 520                                       | 3                       | 450                                                 |
| 115                                                                                   |    | 600 & 1 000:1                                            | 69 000 para 115 000 Y                     | 115 000                         | Solo Y                                |                                                        | 630                                       | 3                       | 550                                                 |
| 138                                                                                   |    | 700 & 1 200:1                                            | 80 500 para 138 000 Y                     | 138 000                         | Solo Y                                | 275                                                    | 750                                       | 3                       | 650                                                 |
| 161                                                                                   |    | 800 & 1 400:1                                            | 92 000 para 161 000 Y                     | 161 000                         | Solo Y                                | 325                                                    | 865                                       | 3                       | 750                                                 |
| 196                                                                                   |    | 1 000 & 1 700:1                                          | 115 000 para 196 000 Y                    | 196 000                         | Solo Y                                | 383                                                    | 1035                                      | 3                       | 900                                                 |
| 230                                                                                   |    | 1 200 & 2 000:1                                          | 138 000 para 280 000 Y                    | 230 000                         | Solo Y                                | 460                                                    | 1210                                      | 3                       | 1050                                                |
| 287                                                                                   |    | 1 500 & 2 500:1                                          | 172 500 para 287 000 Y                    | 287 000                         | Solo Y                                | 573                                                    | 1500                                      | 3                       | 1300                                                |

Fuente: NMX-J-168.

Tabla 2.125 Transformadores de corriente relaciones de transformación

| Tensión del sistema (kV) | Corriente térmica de cortocircuito nominal ( $I_{th}$ ) (kA) | Relación de transformación primaria para medición y protección | Relación de transformación para facturación (de un solo devanado) | Relación de transformación para facturación (de dos devanados) |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 13.8                     | 25                                                           | 600:5 ó 1 200:5 ó 2 000:5                                      | --                                                                |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      | --                                                             | 10:5 ó 50:5 ó 200:5                                               |                                                                |
| 23                       | 25                                                           | 600:5 ó 1 200:5 ó 2 000:5                                      | --                                                                |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      | --                                                             | 10:5 ó 50:5 ó 200:5                                               |                                                                |
| 34.5                     | 25                                                           | 600:5 ó 1 200:5 ó 2 000:5                                      | --                                                                |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      | --                                                             | 10:5 ó 50:5 ó 200:5                                               |                                                                |
| 69                       | 25                                                           | 300x500/600x1 000/1 200                                        | --                                                                |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      | --                                                             | 50:5 ó 200:5                                                      |                                                                |
| 115                      | 31.5                                                         | 300/400/500X600/800/1 000X1                                    | --                                                                | 3 000:5                                                        |
|                          | 40                                                           | 200/1 600/2 000                                                |                                                                   |                                                                |
|                          | 50                                                           | 1 500/3 000                                                    |                                                                   |                                                                |
|                          | 63                                                           | 1 600/3 200                                                    |                                                                   |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      |                                                                | 50:5 ó 200:5                                                      |                                                                |
| 138                      | 31.5                                                         | 300/400/500X600/800/1 000X1                                    |                                                                   | 3 000:5                                                        |
|                          | 40                                                           | 200/1 600/2 000                                                |                                                                   |                                                                |
|                          | 50                                                           | 1 500/3 000                                                    |                                                                   |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      | --                                                             | 50:5 ó 200:5                                                      |                                                                |
| 161                      | 31.5                                                         | 600/800/1 000X1 200/1                                          |                                                                   | 2 000:5                                                        |
|                          | 40                                                           | 600/2 000                                                      |                                                                   |                                                                |
|                          | 50                                                           | 1 500/3 000                                                    |                                                                   |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      | --                                                             | 50:5 ó 200:5                                                      |                                                                |
| 230                      | 31.5                                                         | 600/800/1 000X1 200/1                                          |                                                                   | 1 600:5                                                        |
|                          | 40                                                           | 600/2 000                                                      |                                                                   |                                                                |
|                          | 50                                                           | 1 500/3 000                                                    |                                                                   |                                                                |
|                          | 0.08 In                                                      | --                                                             | 50:5 ó 200:5                                                      |                                                                |
| 400                      | 31.5                                                         | 800/1 000X1 600/2 000                                          |                                                                   | 1 000:5 ó 1 600:5                                              |
|                          | 40                                                           |                                                                |                                                                   |                                                                |
|                          | 50                                                           | 1 500/3 000                                                    |                                                                   |                                                                |

Fuente: NRF-027-CFE

Tabla 2.126 Cargas nominales de precisión usuales para transformadores de potencial

| Tensión nominal del sistema (kV) | Tensión máxima de diseño (kV) | Relación de transformación | Clase y potencia de exactitud |
|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 13.8                             | 15                            | 8.400/120                  | 0.3 W, X, Y                   |
| 23.0                             | 25.8                          | 14.400/120                 | 0.3 W, X, Y                   |
| 34.5                             | 38                            | 20.125/115                 | 0.3 W, X, Y                   |
| 69.0                             | 72.5                          | 40.250/115                 | 0.3 W, X, Y, Z                |
| 115.0                            | 123.0                         | 69.000/115                 | 0.3 W, X, Y, Z                |
| 138.0                            | 145.0                         | 80.500/115                 | 0.3 W, X, Y, Z                |
| 161.0                            | 170.0                         | 92.000/115                 | 0.3 W, X, Y, Z                |
| 230.0                            | 245.0                         | 138.000/115                | 0.3 W, X, Y, Z                |
| 400.0                            | 420.0                         | 241.500/115                | 0.3 W, X, Y, Z                |

Fuente: NRF-026-CFE

Tabla 2.127 Clase de precisión para protección, en transformadores de corriente

| Clasificación de la precisión para protección |       | Tensión secundaria en volts |
|-----------------------------------------------|-------|-----------------------------|
| C                                             | T     |                             |
| C-10                                          | T-10  | 10                          |
| C-20                                          | T-20  | 20                          |
| C-50                                          | T-50  | 50                          |
| C-100                                         | T-100 | 100                         |
| C-200                                         | T-200 | 200                         |
| C-400                                         | T-400 | 400                         |
| C-800                                         | T-800 | 800                         |

NOTAS:

1. Las tensiones nominales secundarias, están basadas en una corriente nominal de 5 Amperes y en las cargas normalizadas.
2. La clasificación "C", cubre transformadores de corriente tipo toroidal o dona, con el devanado secundario uniformemente distribuido y cualquier otro transformador en que el flujo de dispersión en el núcleo tiene un efecto despreciable sobre el error de relación, dentro de los límites de corriente y carga establecidos en esta norma.
3. La clasificación "T", cubre los transformadores en los que el flujo disperso tiene un efecto apreciable sobre el error de relación.
4. La clasificación de la precisión para protección, en transformadores tipo boquilla, con relación múltiple y derivaciones en el secundario, se aplica solamente cuando se usa el devanado completo. Para cada clase de precisión existen dos paralelogramos: uno interior, que da los límites para los errores a 100 por ciento de su corriente nominal y otro exterior, que señala los límites de los errores cuando opera el transformador al 10 por ciento de su corriente nominal

Fuente: NMX-J-109

Tabla 2.128 Cargas nominales para transformadores tipo boquilla, ventana para protección y medición con corriente nominal secundaria de 5 amps

| Clase de protección y carga nominal | Relación               |
|-------------------------------------|------------------------|
| <b>Protección</b>                   |                        |
| 10P20 50VA                          | 600:5 <sup>(1)</sup>   |
|                                     | 1 200:5 <sup>(1)</sup> |
| 10P20 100 VA                        | 1 200:5                |
|                                     | 2 000:5                |
|                                     | 3 000:5 <sup>(1)</sup> |
| 10P20 200 VA                        | 2 000:5                |
|                                     | 3 000:5 <sup>(1)</sup> |
| Clase de medición y carga nominal   | Relación               |
| <b>Medición</b>                     |                        |
| 0.2 5 VA                            | 400:5                  |
|                                     | 800:5 <sup>(1)</sup>   |
| 0.2 30 VA                           | 600:5                  |
|                                     | 1 200:5                |
|                                     | 2 000:5                |
|                                     | 3 000:5 <sup>(1)</sup> |
| 0.2 50 VA                           | 600:5                  |
|                                     | 1 200:5                |
|                                     | 2 000:5                |
|                                     | 3 000:5 <sup>(1)</sup> |

(1) Aplica solo para pruebas prototipo del transformador que evalúa a la familia

Fuente: NRF-027-CFE

Tabla 2.129 Consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de corriente

| Aparatos                  | Modelo                                                                | Consumo en VA para la intensidad nominal |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|                           |                                                                       | Frecuencia 60 cps                        |
| Watthorímetros            |                                                                       | 0.5 a 1.5                                |
| Wattmetros de tablero     | A inducción                                                           | 1.5 a 3                                  |
|                           | Electrodinámico                                                       | 4 a 5                                    |
| Wattmetros registradores  | A inducción                                                           | 1.5 a 2                                  |
|                           | Electrodinámico                                                       | 6 a 8                                    |
|                           | Electrodinámico                                                       | 1 a 4                                    |
| Wattmetros portátiles     | -                                                                     | 1.5 a 3                                  |
| Wattmetros de laboratorio | -                                                                     | 6 a 16                                   |
| Mediciones de defasaje    | -                                                                     | 10 a 18                                  |
| Fasómetros                | -                                                                     | -                                        |
| Relevadores               | De corriente máxima con retardo independiente                         | 3 a 10                                   |
|                           | Relevadores especiales de corriente máxima, con atraso independiente. | 15 a 25                                  |
|                           | De máxima instantánea                                                 | 1 a 10                                   |
|                           | Direccional                                                           | 1.5 a 10                                 |
|                           | Diferencial compensado                                                | 1.6 a 10                                 |
|                           | Diferencial                                                           | 3 a 12                                   |
|                           | A mínima de impedancia                                                | 0.5 a 2                                  |
|                           | De distancia                                                          | 6 a 20                                   |
|                           | Según modelo                                                          | 10 a 150                                 |

Tabla 2.130 Datos de ejemplo de medición

| Aparato       | Consumo |     |
|---------------|---------|-----|
|               | Watts   | VAR |
| Watthorímetro | 0.5     | 1.5 |
| Várimetro     | 0.5     | 1.5 |
| Amperímetro   | 1.3     | 1.8 |
| Total:        | 2.3     | 4.8 |

Tabla 2.131 Datos de ejemplo de relevador

| Relevador | Consumo |      |
|-----------|---------|------|
|           | Watts   | VAR  |
| 51        | 2.5     | 8.4  |
| 51N       | 15      | 57   |
| Total:    | 17.5    | 65.4 |

Tabla 2.132 Datos de fabricante

| Aparato        | Consumo (VA) |
|----------------|--------------|
| Voltímetro     | 6            |
| Wattmetro      | 8.5          |
| Wattthorímetro | 7.5          |
| Total:         | 22           |

Tabla 2.133 Límite del incremento de temperatura en los devanados, según su clase de aislamiento, referidos a una altura de 1000 m.s.n.m., en transformadores de corriente

| Clase de aislamiento                                                                      | Límites del incremento de Temperatura (°C) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Todos los tipos con devanados sumergidos en aceite (clase de aislamiento 105)             | 55                                         |
| Todos los tipos con devanados sumergidos en compuesto asfáltico (clase de aislamiento 90) | 45                                         |
| 90                                                                                        | 45                                         |
| 105                                                                                       | 80                                         |
| 120                                                                                       | 75                                         |
| 130                                                                                       | 85                                         |
| 155                                                                                       | 110                                        |
| 180                                                                                       | 135                                        |
| más de 180                                                                                | más de 135                                 |

Fuente: NMX-J-109

Tabla 2.134 Factores de corrección para altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m.

| ≥ 1000 m.s.n.m. | Factores de corrección |
|-----------------|------------------------|
| 1 000           | 1.00                   |
| 1 200           | 0.98                   |
| 1 500           | 0.95                   |
| 1800            | 0.92                   |
| 2 100           | 0.89                   |
| 2 400           | 0.86                   |
| 2 700           | 0.83                   |
| 3 000           | 0.80                   |
| 3 600           | 0.75                   |
| 4 200           | 0.70                   |
| 4 500           | 0.67                   |

Fuente: NMX-J-109



Tabla 2.135 Factores de corrección para las elevaciones de temperatura en altitudes superiores a 1 000 m. sobre el nivel del mar, en transformadores de corriente

| Altitud | Factores de corrección    |                         | Altitud | Factor de corrección      |                         |
|---------|---------------------------|-------------------------|---------|---------------------------|-------------------------|
| m       | Transformadores en aceite | Transformadores en seco | m       | Transformadores en aceite | Transformadores en seco |
| 1 100   | 0.996                     | 0.995                   | 2 100   | 0.956                     | 0.945                   |
| 1 200   | 0.992                     | 0.990                   | 2 200   | 0.952                     | 0.940                   |
| 1 300   | 0.988                     | 0.985                   | 2 300   | 0.948                     | 0.935                   |
| 1 400   | 0.984                     | 0.980                   | 2 400   | 0.944                     | 0.930                   |
| 1 500   | 0.980                     | 0.975                   | 2 500   | 0.940                     | 0.925                   |
| 1 600   | 0.976                     | 0.970                   | 2 600   | 0.936                     | 0.920                   |
| 1 700   | 0.972                     | 0.965                   | 2 700   | 0.932                     | 0.915                   |
| 1 800   | 0.968                     | 0.960                   | 2 800   | 0.928                     | 0.910                   |
| 1 900   | 0.964                     | 0.955                   | 2 900   | 0.924                     | 0.905                   |
| 2 000   | 0.960                     | 0.950                   | 3 000   | 0.920                     | 0.900                   |

Fuente: NMX-J-109

Tabla 2.136 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento referida a una altura de 1 000 m sobre el nivel del mar (transformadores de potencial)

| Clase de aislamiento           | Temperatura ambiente 30 °C |                                   | Temperatura ambiente 55 °C |                                   |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
|                                | Temperatura promedio °C    | Temperatura punto más caliente °C | Temperatura promedio °C    | Temperatura punto más caliente °C |
| Clase 105 sumergidos en aceite | 55                         | 65                                | 30                         | 40                                |
| Clase 105 tipo seco            | 55                         | 65                                | 30                         | 40                                |
| Clase 130 tipo seco            | 80                         | 110                               | 55                         | 85                                |

Fuente: NMX-J-168

## 2.12. APARTARRAYOS DE ÓXIDO METÁLICO <sup>11</sup>

La selección de un apartarrayos de óxido metálico con valor nominal adecuado está basado en consideraciones de la tensión máxima continua de operación, de la magnitud y duración de las sobretensiones en el lugar donde está instalado el apartarrayos, cuando está afectado por fallas de fase a tierra, técnicas del sistema de puesta a tierra, sobretensiones transitorias por desconexión y otras causas. Ver las reglas de aplicación del fabricante para la selección del apartarrayos específico a ser usado en un sitio particular.

En la Ilustración 2.37 se muestra un ejemplo de un apartarrayo.

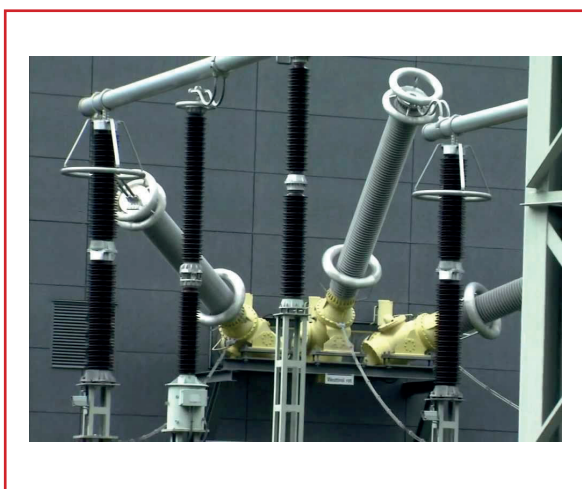
### 2.12.1. CLASE

Los apartarrayos se clasifican de acuerdo a sus corrientes de descarga nominal normalizadas :

- a) 20 000 A
- b) 10 000 A

<sup>11</sup> Fuente: NMX-J-321, NRF-004-CFE

Ilustración 2.37 Apartarrayos



- c) 5 000 A
- d) 2 500 A
- e) 1 500 A

### 2.12.2. Tensión nominal y máxima continua del sistema

#### 2.12.2.1. Tensión nominal

Es el valor de tensión a la que está diseñado el apartarrayos para operar en caso de falla, los valores para cada nivel de tensión de operación se indican en la Tabla 2.137.

#### 2.12.2.2. Tensión máxima continua de operación

Es la tensión permanente máxima que soporta el apartarrayos sin sufrir ningún daño y no debe exceder nunca la tensión máxima de diseño, los valores se muestran en la Tabla 2.137.

#### 2.12.2.3. Tensión máxima a la descarga

Es el valor máximo de la tensión que aparece en las terminales del apartarrayos durante la descarga de la corriente de falla, los valores se muestran en la Tabla 2.138.

#### 2.12.2.4. Tensiones de prueba a frecuencia nominal

Deben de soportar sin flameo las pruebas de frecuencia nominal en seco y en húmedo.

### 2.12.3. Tensión nominal

Los valores normalizados de tensiones nominales para apartarrayos (en kV eficaz) se especifican a continuación:

- 3 kV
- 30 kV
- 54 kV
- 96 kV
- 288 kV
- 396 kV
- 756 kV

#### 2.12.4. CORRIENTE DE DESCARGA NOMINAL

Las corrientes e descarga nominales normalizadas de 80/20  $\mu$  s son:

- a) 20 000 A
- b) 10 000 A
- c) 5 000 A
- d) 2 500 A
- e) 1 500 A

#### 2.12.5. TENSIÓN DE AGUANTE

##### 2.12.5.1. Apartarrayos de óxidos metálicos cerámica y polimérico

Apartarrayos de óxidos Metálicos con envoltiente Polimérico. Cuentan con un menor tamaño y menor peso. Gran flexibilidad de obtener los valores de distancia de fuga a través de los faldones, acortando la longitud del cuerpo del apartarrayo. Su envoltiente de Silicón cuenta con una gran hidrofobicidad, resiste los rayos UV, limita las corrientes de fuga, elimina los costos de lavado y permite incrementar el tiempo de vida de estos equipos. Pueden ser utilizados en ambientes altamente contaminantes, ver Tabla 2.139, Ilustración 2.38 e Ilustración 2.39.

#### 2.12.6. AGUANTE DEL AISLAMIENTO

La envoltiente del apartarrayo debe aguantar las siguientes tensiones:

- a) Nivel de protección al impulso de rayos por apartarrayos, multiplicar por 1.3
- b) Nivel de protección al impulso por maniobra del apartarrayo, multiplicar por 1.25
- c) Tensión a 60 Hz, en condiciones en húmedo para las envoltientes de los apartarrayos para uso interperie y en condiciones en seco para envoltientes de uso interior

#### 2.12.7. AGUANTE AL IMPULSO DE CORRIENTE DE LARGA DURACIÓN

Los apartarrayos deben aguantar corrientes de alta duración ver Tabla 2.140 y Tabla 2.141

#### 2.12.8. NIVEL DE CONTAMINACIÓN

De acuerdo al tipo de contaminación del sitio, se tendrá la distancia de fuga del aislador. Los valores se indican en la Tabla 2.142.

#### 2.12.9. CONDICIONES DE SERVICIO

##### 2.12.9.1. Condiciones normales de servicio

Las condiciones normales de servicio para los apartarrayos de acuerdo con la NMX-J-321 son las siguientes:

Ilustración 2.38 Apartarrayos de óxidos metálicos cerámica



Fuente: NRF-004-CFE

Ilustración 2.39 Apartarrayos polimérico



Fuente: NRF-004-CFE

- a) Temperatura ambiente dentro del intervalo de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$
- b) Radiación solar  
Nota: Los efectos de la máxima radiación solar ( $1.1 \text{ kW/m}^2$ ) han sido tomados en cuenta precalentado la muestra de la prueba durante las pruebas prototipo. Si existen otras fuente de calor cercana al apartarrayo, su aplicación está sujeta al acuerdo entre el fabricante y el usuario
- c) Altitud  $\leq 1\,000 \text{ m}$
- d) La frecuencia de operación debe estar en el intervalo de  $58 \text{ Hz}$  a  $62 \text{ Hz}$
- e) La tensión a la frecuencia de operación aplica continuamente entre las terminales del apartarrayo no debe exceder su tensión de operación continua
- f) Condiciones mecánicas (bajo consideraciones generales)

- g) Condiciones de contaminación (no hay requisitos por el momento)

#### 2.12.9.2. Condiciones anormales de operación

Los apartarrayos que estén sujetos a otras condiciones de servicio o aplicación diferente pueden requerir condiciones especiales de diseño, manufactura o aplicación, para las cuales se requiere ver directamente con el fabricante.

##### **Altitud**

Por norma están diseñados para operar a una altitud de  $1\,000 \text{ m.s.n.m.}$

En caso de que en la hoja de datos se indique una altura de operación mayor de  $1\,000$

m.s.n.m., se deben suministrar apartarrayos para operar satisfactoriamente a una altitud entre 1 000 y 3 000 m.s.n.m.

## 2.12.10. CONDICIONES DE OPERACIÓN

### 2.12.10.1. Características eléctricas del apartarrayos

Una vez definida la tensión nominal del apartarrayos, las características eléctricas de nivel básico al impulso, tensión máxima de descarga, pruebas de tensión a frecuencia comercial, etc., están determinadas por las normas y los valores se muestran en las tablas correspondientes.

### 2.12.10.2. Condiciones del sitio

Los datos de altitud, temperatura y contaminación deberán obtenerse. Para los casos en que no se tengan los datos especificados del sitio en particular, se tomarán como buenos los datos regionales en donde se localiza.

### 2.12.10.3. Conectores

Todos los apartarrayos deben contar con dos conectores terminales, uno para conexión a la línea tipo 4 que cumpla con la norma NEMA CC-1 y otro para conexión a tierra.

- a) El conector para conexión a la línea debe ser para recibir cables de aluminio tipo ASCR del calibre indicado en la hoja de datos. Este conector debe ser bimetálico cuando se indique en la hoja de datos
- b) El conector para conexión a tierra debe ser para recibir un cable de cobre calibre 4/0 AWG

### 2.12.10.4. Montaje

El fabricante proveerá los accesorios necesarios para atornillarse a superficies planas; cuando así se requiera deberán proveerse los accesorios para montaje en suspensión. Los apartarrayos secundarios se proveerán para montaje con colgadores o abrazaderas.

Tabla 2.137 Tensiones para apartarrayos

| Tensión nominal del sistema (kV rmc) | Tensión nominal del apartarrayos (kv (rmc) | Tensión máxima continua que soporta el apartarrayos (kV rmc) |
|--------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Apartarrayo clase II                 |                                            |                                                              |
| 13.8                                 | 12                                         | 10.2                                                         |
| 23                                   | 21                                         | 17                                                           |
| 34.5                                 | 30                                         | 24.4                                                         |
| Apartarrayo clase III y IV           |                                            |                                                              |
| 13.8                                 | 12                                         | 10.5                                                         |
| 23                                   | 21                                         | 17                                                           |
|                                      | 24                                         | 19.5                                                         |
| 34.5                                 | 27                                         | 22                                                           |
|                                      | 30                                         | 24.4                                                         |
| 69                                   | 54                                         | 42                                                           |
|                                      | 60                                         | 48                                                           |
| 115                                  | 90                                         | 70                                                           |
|                                      | 96                                         | 76                                                           |
|                                      | 108                                        | 84                                                           |
| 138                                  | 108                                        | 84                                                           |
|                                      | 120                                        | 98                                                           |
| 161                                  | 120                                        | 98                                                           |
|                                      | 132                                        | 106                                                          |
|                                      | 144                                        | 115                                                          |
| 230                                  | 172                                        | 138                                                          |
|                                      | 180                                        | 144                                                          |
|                                      | 192                                        | 154                                                          |
| 400                                  | 300                                        | 240                                                          |
|                                      | 312                                        | 250                                                          |
|                                      | 336                                        | 269                                                          |
|                                      | 360                                        | 288                                                          |

Fuente: NRF-003-CFE

Tabla 2.138 Características eléctricas del apartarrayos

| Tensión Nominal del Sistema kV (rmc) | Tensión máxima continua que soporta el apartarrayos kV (rmc) | Al impulso de corriente por rayo 8/20 kV (cresta) |      |       |       |       |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|
|                                      |                                                              | 3 kA                                              | 5 kA | 10 kA | 20 kA | 40 kA |
| 13.8                                 | 12                                                           | 23.5                                              | 25   | 36    | 38    | 44    |
| 23                                   | 21                                                           | 50                                                | 53   | 58    | 66    | 70    |
|                                      | 24                                                           | 56                                                | 61   | 66    | 76    | 82    |
| 34.5                                 | 27                                                           | 63                                                | 65   | 75    | 77    | 95    |
|                                      | 30                                                           | 70                                                | 73   | 78    | 88    | 103   |
| 69                                   | 54                                                           | 116                                               | 121  | 134   | 149   | 160   |
|                                      | 60                                                           | 133                                               | 138  | 149   | 165   | 180   |
| 115                                  | 90                                                           | 193                                               | 213  | 222   | 248   | 266   |
|                                      | 96                                                           | 215                                               | 227  | 237   | 264   | 285   |
|                                      | 106                                                          | 332                                               | 256  | 268   | 297   | 320   |
| 230                                  | 172                                                          | 385                                               | 410  | 430   | 471   | 524   |
|                                      | 180                                                          | 396                                               | 422  | 445   | 485   | 539   |
|                                      | 192                                                          | 418                                               | 454  | 475   | 520   | 569   |
| 400                                  | 300                                                          | 628                                               | 740  | 740   | 805   | 892   |
|                                      | 312                                                          | 644                                               | 770  | 770   | 840   | 921   |
|                                      | 336                                                          | 707                                               | 830  | 830   | 910   | 990   |
|                                      | 360                                                          | 760                                               | 970  | 970   | 950   | 1063  |

Fuente: NRF-003-CFE

Tabla 2.139 Tensión de aguante al aislamiento

| Descripción corta CFE | Nivel de contaminación | Tensión nominal de apartarrayo | Al impulso 1.2/50 $\mu$ (kV cresta) | 60 Hz eficaz en húmedo 1 min (kV eficaz) | Distancia min. de fuga (mm) | T.C.O. (kV eficaz) | Tensiones residuales máximas                                 |                                                          |                                                        |                                   |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                       |                        |                                |                                     |                                          |                             |                    | Al impulso de corriente por maniobra 30/60 $\mu$ (kV cresta) | Al impulso de corriente escarpado 1/20 $\mu$ (kV cresta) | Al impulso de corriente de rayo 8/20 $\mu$ (kV cresta) | Valor máx. de descargas parciales |
| ADOM-10               | MEDIA                  | 10                             | 75                                  | 240                                      | 495                         | 84                 | 29                                                           | 36                                                       | 40                                                     | 10                                |
| ADOMC-12              | ALTA                   | 12                             | 85                                  | 270                                      | 495                         | 102                | 35                                                           | 44                                                       | 48                                                     | 10                                |
| ADOM-18               | MEDIA                  | 18                             | 125                                 | 360                                      | 830                         | 153                | 53                                                           | 65                                                       | 72                                                     | 10                                |
| ADOMC-21              | ALTA                   | 21                             | 125                                 | 360                                      | 830                         | 17                 | 61                                                           | 76                                                       | 84                                                     | 10                                |
| ADOM-27               | MEDIA                  | 27                             | 150                                 | 600                                      | 1030                        | 22                 | 79                                                           | 98                                                       | 108                                                    | 10                                |
| ADOMC-30              | ALTA                   | 30                             | 150                                 | 600                                      | 1030                        | 244                | 87                                                           | 108                                                      | 120                                                    | 10                                |
| DOM 23 LyF            | ALTA                   | 24                             | 150                                 | 500                                      | 830                         | 195                | 67                                                           | 83                                                       | 92                                                     | 10                                |

Fuente: NRF-004-CFE

Tabla 2.140 Descarga de línea en apartarrayos de 20 000 A y 10 000A

| Clasificación del apartarrayos | Clase de descarga de línea | Impedancia característica de la línea $Z$ | Duración virtual de la cresta $T$<br>$\mu s$ | Tensión de la carga $U_L$<br>kV c.d. |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|
| 10 000 A                       | 1                          | $4.9 U_r$                                 | 2 000                                        | $3.2 U_r$                            |
| 10 000 A                       | 2                          | $2.4 U_r$                                 | 2 000                                        | $3.2 U_r$                            |
| 10 000 A                       | 3                          | $1.3 U_r$                                 | 2 400                                        | $2.8 U_r$                            |
| 20 000 A                       | 4                          | $0.6 U_r$                                 | 2 800                                        | $2.8 U_r$                            |
| 20 000 A                       | 5                          | $0.5 U_r$                                 | 3 200                                        | $2.4 U_r$                            |

Fuente: NMX-J- 321

Tabla 2.141 Impulso de corriente de larga duración en apartarrayos de 5 000 A y 2 500 A

| Clasificación del apartarrayos | Valor cresta de la corriente<br>A | Duración virtual de la cresta $T$<br>$\mu s$ |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------|
| 5 000 A                        | 75                                | 1 000                                        |
| 2 500 A                        | 50                                | 500                                          |

Fuente: NMX-J- 321



Tabla 2.142 Distancias de fugas recomendados

| Nivel de contaminación | Ejemplos de ambientes típicos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Distancia de fuga específica mínima nominal (mm/kV <sup>1</sup> ) |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| I-Ligero               | -Áreas sin industrias y con baja densidad de casas equipadas con calefacción<br>-Áreas con baja densidad de industrias o casas, pero sujeta a vientos frecuentes y/o lluvia<br>-Áreas de agricultura <sup>2</sup><br>-Áreas montañosas<br>-Todas estas áreas deben estar situadas al menos de 10 km a 20 km del mar y no deben exponerse a vientos directos desde el mar <sup>3</sup>                                                                             | 16.0                                                              |
| II-Medio               | -Áreas con industrias que no producen particularmente humos contaminantes y/o con densidad media de casas equipadas con calefacción<br>-Áreas con alta densidad de casas y/o industrias, pero sujetas a vientos frecuentes y lluvias<br>-Áreas expuestas a viento desde el mar pero no demasiado cerca de la costa (a menos a varios kilómetros distancia) <sup>3</sup>                                                                                           | 20.0                                                              |
| III-Alto               | -Áreas con alta densidad de industrias y suburbios de ciudades grandes con alta densidad de plantas calefactoras productoras de contaminación<br>-Áreas cerca del mar o en cualquier caso expuestas a vientos relativamente fuertes desde el mar <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                     | 25.0                                                              |
| IV-Muy Alto            | -Áreas generalmente de extensión moderada, sujetas a polvos conductores y a humo industrial depositado en capas de materiales conductores<br>-Áreas generalmente de extensión moderada, muy cerca de la costa y expuestas a rocío de mar o a vientos de mar muy fuertes y contaminantes<br>-Áreas desérticas, caracterizadas por la falta de lluvia durante largos periodos, expuestas a vientos fuertes acarreando arena y sal, y sujetas a condensación regular | 31.0                                                              |

NOTA - Esta tabla debe aplicarse sólo a aislamientos de vidrio o porcelana y no cubre situaciones ambientales como la nieve o hielo en alta contaminación, lluvia fuerte, zonas áridas, etcétera

- 1) De acuerdo con el apéndice J y/o la norma IEC 815, la distancia de fuga mínima de los aisladores entre fase-tierra ésta relacionada con la tensión más alta del sistema (fase-fase)
- 2) Uso de fertilizantes por aspersión, o la quema de residuos de cosecha puede conducir a un nivel de contaminación más altos debido a la dispersión por el viento
- 3) Las distancias desde las costas del mar dependen de la topografía del área costera y de las condiciones extremas de viento

Fuente: NMX-J-150/2

## 2.13. CORTACIRCUITOS FUSIBLE<sup>12</sup>

Los cortacircuitos fusible considerados en este capítulo son para servicio exterior para sistemas, con tensiones de hasta 34.5 kV, ver Ilustración 2.40.

A continuación se muestra las piezas de cortacircuitos según CFE:

Ver Ilustración 2.41.

- I. Herrajes de montaje a la estructura:
  1. Ménsula
  2. Contraménsula
  3. Tornillería de fijación a la cruceta
  4. Tornillería de fijación al cortacircuitos fusible
- II. Montaje del cortacircuitos fusible
  5. Aislador
  6. Conectores de ranuras paralelas
  7. Soporte del contacto superior
  8. Contacto superior
  9. Guías y ganchos para el uso del interruptor portátil para abrir con carga
  10. Percha soporte del portafusible (contiene los contactos inferiores no visibles en la Ilustración 2.41)
- III. Portafusible
  11. Tapón superior
  12. Férulas sujetadoras del tubo portafusible
  13. Tubo portafusible
  14. Ojillo de colocación
  15. Anillo de operación

<sup>12</sup> Fuente: NFR- 029-CFE, NMX-J-149, NMX-J-153, NOM-001-SEDE

### 2.13.1. TENSIÓN

#### 2.13.1.1. Tensión nominal

Es la tensión con la que se designa la base de la unidad fusible, ver Tabla 2.143.

#### 2.13.1.2. Tensión de interrupción

Es el valor máximo de la tensión instantánea, la cual aparece a través de las terminales de un cortocircuito fusible, durante su operación.

### 2.13.2. CORRIENTE

#### 2.13.2.1. Corriente nominal

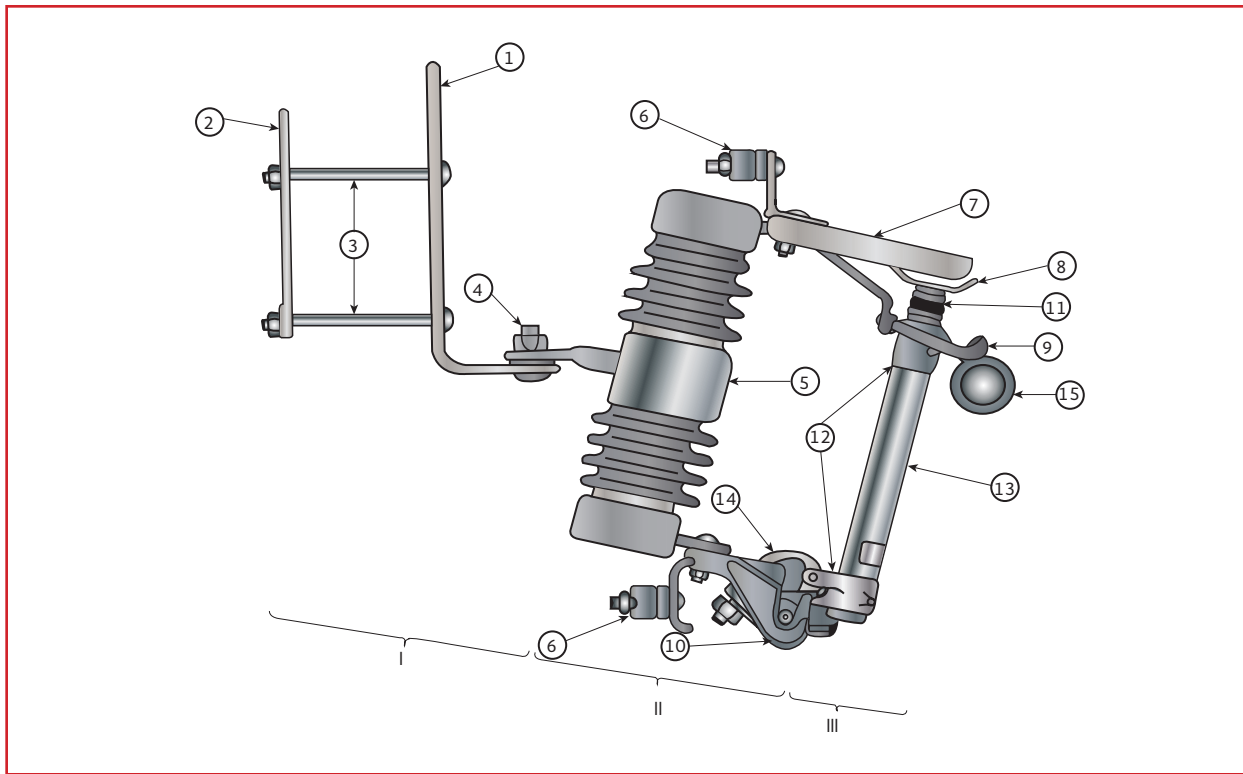
Es la corriente asignada para la base de la unidad fusible que es capaz de conducir continuamente, sin exceder la elevación de temperatura especificada, cuando esté equipada con una unidad fusible de su misma capacidad de corriente nominal, estando conectada al circuito a tensión y frecuencia nominal, ver Tabla 2.143.

Ilustración 2.40 Cortacircuito fusible de potencia



Fuente: NRF-029-CFE

Ilustración 2.41 Componentes de un cortacircuitos fusible



Fuente: NRF-029-CFE

### 2.13.3. NIVEL BÁSICO DE AISLAMIENTO

Un cortacircuitos fusible debe ser capaz de soportar sobretensiones transitorias originadas básicamente por descargas atmosféricas en las líneas de alimentación, ver Tabla 2.143

### 2.13.4. CORRIENTE INTERRUPTIVA

#### 2.13.4.1. Corriente nominal de interrupción

Es el valor especificado en kiloamperes para la capacidad interruptiva de una unidad fusible.

#### 2.13.4.2. Capacidad interruptiva

Es el valor de la corriente prospectiva de interrupción, que un cortacircuitos fusible es capaz

de interrumpir a una tensión establecida, bajo condiciones prescritas de uso y comportamiento, estos valores se indican en la Tabla 2.143.

### 2.13.5. CONDICIONES DE OPERACIÓN

Se requiere conocer la siguiente información:

- Posición de operación
- La posición de operación podrá ser horizontal o vertical
- Tensión nominal del sistema
- Corriente nominal
- Forma de conexión a tierra de los neutros del sistema
- Tipo de servicio
- Intemperie o interior
- Temperatura ambiente
- Altitud

## 2.13.6. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

### 2.13.6.1. Temperatura

El cortacircuitos fusible debe estar diseñado para operar satisfactoriamente dentro de un rango de temperatura ambiente de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$ .

La unidad fusible y su base, deben ser capaces de conducir su corriente nominal sin exceder los límites de elevación de temperatura, Tabla 2.144.

### 2.13.6.2. Altitud

Los cortacircuitos fusible por norma están diseñados para operar a una altitud de 1 000 m.s.n.m.

En caso de que en la hoja de datos se indique una altura de operación mayor de 1 000 m.s.n.m, se deben aplicar los factores de corrección que se indican en la Tabla 2.144.

### 2.13.6.3. Tipo de atmósfera

Básicamente se consideran dos tipos de atmósfera:

#### ***De contaminación media***

Sitios con lluvias intensas, lluvia marina ligera, fertilizantes e irrigación de plaguicidas. Los lugares que tienen este tipo de contaminación son:

- Sitios a más de 50 Km de la costa
- Campos agrícolas
- Ciudades sin industrias contaminantes
- Lugares a más de 30 Km de industrias contaminantes

#### ***De contaminación alta***

Son sitios en las costas, hasta 50 Km de éstas, en que se tienen lluvias salinas y alta humedad. Sitios cercanos a plantas que producen carbón, plantas petroquímicas, cementeras y acereras.

## 2.13.7. RECOMENDACIONES

### 2.13.7.1. Tensión nominal

La tensión nominal del eslabón fusible, podrá seleccionarse de acuerdo a lo siguiente:

Si se utiliza en un sistema trifásico aterrizado, la tensión nominal de la unidad fusible, debe ser por lo menos igual al 115 por ciento de la tensión monofásica más elevada del circuito.

Si se utiliza en un sistema trifásico no aterrizado, debe considerarse la posible ocurrencia de una doble falla a tierra, una del lado de la fuente y la otra del lado de la carga del cortacircuitos fusible, así como la posibilidad de interrupción de corrientes capacitivas en el caso de una falla monofásica a tierra.

### 2.13.7.2. Corriente nominal

La corriente nominal mínima de diseño de un cortacircuito fusible es de 100 A, por lo que se pueden emplear para muchas capacidades de transformadores, sin embargo, es necesario calcular la corriente nominal del equipo a proteger, para seleccionar adecuadamente el eslabón fusible.

#### 2.13.7.3. Eslabón fusible

Para la selección del eslabón fusible en el primario de un transformador que alimenta motores se debe considerar. La corriente de arranque del motor mayor y la nominal del equipo alimentado, por lo que se calcula con la siguiente Ecuación 2.13:

$$I_f = I_{am} + I_{ne} + I_r \quad \text{Ecuación 2.13}$$

donde:

$I_f$  = Corriente del eslabón fusible

$I_{am}$  = Corriente de arranque del motor mayor

$I_{ne}$  = Corriente nominal del resto del equipo conectado

$I_r$  = Corriente nominal de la capacidad de reserva

Las corrientes de los motores es necesario referirlos a la tensión del primario.

Cuando no se tengan datos de la carga instalada, se pueden emplear los valores mostrados en las Tabla 2.145 y Tabla 2.146.

Otra opción es utilizar en criterio de la norma NOM-001-SEDE:

#### **Transformadores de tensión nominal mayor a 600 V**

Primario y secundario. Cada transformador deberá tener dispositivos de protección para el primario y el secundario, de capacidad o ajuste para abrir o no más de los valores anotados en Tabla 2.147.

#### **Transformadores de tensión de 600 V o menos**

Ver Tabla 2.148.

#### 2.13.7.4. Aisladores

Para el tipo de aisladores se debe considerar la distancia de fuga por el tipo de atmósfera:

- Contaminación media en 3.5 cm/kV
- Contaminación alta de 4.5 cm/Kv

#### 2.13.7.5. Operación

La operación será manual, mediante pértiga para abrir o cerrar los cortacircuitos fusible, en falla la operación debe ser automática.

#### 2.13.7.6. Conectores

Para seleccionar adecuadamente los conectores del cortacircuito fusible, es necesario considerar el material de los conductores de alimentación y carga, así como el calibre de los mismos.

#### 2.13.7.7. Condiciones del sitio

Los datos de altitud, temperatura y contaminación deberán conocerse, para instalaciones exteriores la presión del viento no debe exceder de 700 N/m<sup>2</sup>.

#### 2.13.7.8. Nivel básico al impulso

Seleccionar del fabricante, de acuerdo a la tensión del cortacircuito fusible y considerando el grado de exposiciones a las sobretensiones por maniobra, y por rayos, así como la forma de conectar el neutro a tierra cuando se aplique, el tipo de dispositivo de protección contra sobretensiones.

Tabla 2.143 Características de operación de los cortacircuitos fusible

| Descripción corta        | Tensión máxima de diseño (kV) | Corriente nominal (A) | Nivel básico de aislamiento al impulso (kV) | Corriente interruptiva nominal asimétrica (A) | Clave      |
|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------|
| CCF-15-100-110-8 000     | 15                            | 100                   | 110                                         | 8 000                                         | V41C723C72 |
| CCF-15-100-110-10 000    | 15                            | 100                   | 110                                         | 10 000                                        | V41C723E72 |
| CCF-15-100-110-12 000    | 15                            | 100                   | 110                                         | 12 000                                        | V41C723G82 |
| CCF-27-100-150-6 000     | 27                            | 100                   | 150                                         | 6 000                                         | V41C923A10 |
| CCF-27-100-150-8 000     | 27                            | 100                   | 150                                         | 8 000                                         | V41C923C72 |
| CCF-27-100-150-12 000    | 27                            | 100                   | 150                                         | 12 000                                        | V41C423A10 |
| CCF-38-100-200-2 000     | 38                            | 100                   | 200                                         | 2 000                                         | V41CA23450 |
| CCF-38-100-200-5 000     | 38                            | 100                   | 200                                         | 5 000                                         | V41CC23410 |
| CCF-C-15-100-110-8 000   | 15                            | 100                   | 110                                         | 8 000                                         | V41C723C82 |
| CCF-C-15-100-110-10 000  | 15                            | 100                   | 110                                         | 10 000                                        | V41C723E82 |
| CCF-C-15-100-110-12 000  | 15                            | 100                   | 110                                         | 12 000                                        | V41C723G82 |
| CCF-C-27-100-150-6 000   | 27                            | 100                   | 150                                         | 6 000                                         | V41C943A20 |
| CCF-C-27-100-150-8 000   | 27                            | 100                   | 150                                         | 8 000                                         | V41C753C10 |
| CCF-C-27-100-150-12 000  | 27                            | 100                   | 150                                         | 12 000                                        | V41C763C10 |
| CCF-C-38-100-200-2 000   | 38                            | 100                   | 200                                         | 2 000                                         | V41CB23410 |
| CCF-C-38-100-200-5 000   | 38                            | 100                   | 200                                         | 5 000                                         | V41CD23410 |
| CCF(3D)-15-100-110-8 000 | 15                            | 100                   | 110                                         | 8 000                                         | V41C623C1A |
| CCF(3D)-27-100-150-6 000 | 27                            | 100                   | 150                                         | 6 000                                         | V41C123A10 |
| CCF(3D)-38-100-200-2 000 | 38                            | 100                   | 200                                         | 2 000                                         | V41CJ23410 |

CCF = Cortacircuitos Fusible

C = Contaminación y Corrosión

3D = Tres activaciones (disparos)

15, 27 y 38 = Tensión máxima de diseño en kV

100 = Corriente nominal en A

110, 150 y 200 = Nivel básico de aislamiento en kV

2 000, 5 000, 6 000, 8 000, 10 000 y 12 000 = Corriente máxima de interrupción asimétrica en A

NOTA: El aislamiento del CCF por su construcción puede ser de una columna recta o dos en "V".

Fuente: NRF-029-CFE

Tabla 2.144 Factores de corrección por altitud

| Altitud sobre el nivel del mar | Tensión de | Factor de corrección por altitud para ser aplicado |                            |                      |
|--------------------------------|------------|----------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|
|                                | Prueba     | Tensión nominal                                    | Corriente continua nominal | Temperatura ambiente |
| Columna 1                      | Columna 2  | Columna 3                                          | Columna 4                  | Columna 5            |
| 1 000                          | 1.0        | 1.00                                               | 1.00                       | 1.00                 |
| 1 200                          | 1.02       | 0.98                                               | 0.995                      | 0.992                |
| 1 500                          | 1.05       | 0.95                                               | 0.990                      | 0.980                |
| 1 800                          | 1.09       | 0.92                                               | 0.985                      | 0.968                |
| 2 100                          | 1.13       | 0.89                                               | 0.980                      | 0.956                |
| 2 400                          | 1.17       | 0.86                                               | 0.970                      | 0.944                |
| 2 700                          | 1.21       | 0.83                                               | 0.965                      | 0.932                |
| 3 000                          | 1.25       | 0.80                                               | 0.960                      | 0.920                |
| 3 600                          | 1.33       | 0.75                                               | 0.950                      | 0.896                |
| 4 200                          | 1.44       | 0.70                                               | 0.935                      | 0.872                |

Fuente: NMX-J-149

Tabla 2.145 Capacidad para protección de corto circuito de transformadores, capacidades mínimas recomendadas

| kVA                         | 13 800 volt |                   | 22 000 volt |                   | 33 000 volt |                   |
|-----------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
|                             | Amperes     |                   | Amperes     |                   | Amperes     |                   |
|                             | Plena carga | Capacidad fusible | Plena carga | Capacidad fusible | Plena carga | Capacidad fusible |
| Transformadores monofásicos |             |                   |             |                   |             |                   |
| 5                           | --          | --                | --          | --                | --          | --                |
| 10                          | 0.73        | 5                 | --          | --                | --          | --                |
| 15                          | 1.08        | 5                 | --          | --                | --          | --                |
| 25                          | 1.81        | 5                 | 1.14        | 5                 | 0.76        | 5                 |
| 37.5                        | 2.72        | 5                 | 1.70        | 5                 | 1.14        | 5                 |
| 50                          | 3.62        | 7                 | 2.28        | 5                 | 1.52        | 5                 |
| 75                          | 5.45        | 10                | 2.28        | 5                 | 1.52        | 5                 |
| 100                         | 7.25        | 15                | 4.55        | 10                | 3.03        | 7                 |
| 150                         | 10.80       | 25                | 6.80        | 15                | 4.55        | 10                |
| 200                         | 14.50       | 30                | 9.10        | 20                | 6.07        | 15                |
| 250                         | 18.10       | 40                | 11.40       | 25                | 7.60        | 15                |
| 400                         | 28.90       | 65                | 18.20       | 40                | 12.10       | 25                |
| 500                         | 36.20       | 80                | 22.80       | 50                | 15.20       | 30                |
| 25                          | 1.04        | 5                 | 0.65        | 5                 | 0.44        | 5                 |
| 37.5                        | 1.57        | 5                 | 0.69        | 5                 | 0.66        | 5                 |
| 50                          | 2.10        | 5                 | 1.31        | 5                 | 0.87        | 5                 |
| 75                          | 3.14        | 7                 | 1.97        | 5                 | 1.31        | 5                 |
| 100                         | 4.19        | 5                 | 2.6         | 5                 | 1.75        | 5                 |
| 150                         | 6.21        | 10                | 3.93        | 10                | 2.62        | 7                 |
| 200                         | 8.35        | 15                | 5.25        | 10                | 2.62        | 7                 |
| 300                         | 12.50       | 20                | 7.85        | 15                | 3.50        | 10                |
| 450                         | 18.80       | 25                | 11.80       | 25                | 5.20        | 15                |
| 500                         | 21.00       | 40                | 13.10       | 30                | 7.87        | 20                |
| 750                         | 31.40       | 65                | 19.70       | 40                | 8.73        | 30                |
| 1000                        | 41.10       | 100               | 26.30       | 65                | 13.10       | 40                |
| 2000                        | 83.50       | 200               | 52.50       | 125               | 16.50       | 80                |
| 3000                        | --          | --                | 78.50       | 150               | 5.00        | 125               |
| 5000                        | --          | --                | --          | --                | 87.50       | 200               |



Tabla 2.146 Elevación de temperatura para componentes y materiales

| Componentes y materiales                                                                                | Valor máximo de  |                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|
|                                                                                                         | Temperatura (°C) | Elevación de temperatura (°C) |
| Contactos de cobre en aire:                                                                             |                  |                               |
| 1. Contactos bajo presión de resorte.                                                                   |                  |                               |
| - Desnudos                                                                                              | (75)             | (35)                          |
| - Plateados                                                                                             | (105)            | (65)                          |
| - Estañados                                                                                             | (95)             | (55)                          |
| - Otros recubrimientos                                                                                  | (ver nota)       | (ver nota)                    |
| 2. Contactos de perno.                                                                                  |                  |                               |
| - Desnudos                                                                                              | (90)             | (50)                          |
| - Plateados                                                                                             | (105)            | (65)                          |
| - Otros recubrimientos                                                                                  | (ver nota)       | (ver nota))                   |
| Contactos de cobre en aceite:                                                                           |                  |                               |
| - Desnudos                                                                                              | (80)             | (40)                          |
| - Plateados, estañados o niquelados                                                                     | (90)             | (50)                          |
| - Otros recubrimientos                                                                                  | (ver nota)       | (ver nota)                    |
| Terminales atornilladas en aire:                                                                        |                  |                               |
| - Desnudas                                                                                              | (90)             | (50)                          |
| - Plateadas o estañadas                                                                                 | (105)            | (65)                          |
| - Otros recubrimientos                                                                                  | (ver nota)       | (ver nota))                   |
| Partes metálicas que actúan como resortes.                                                              | (ver nota)       |                               |
| Materiales aislantes o partes metálicas en contacto con materiales aislantes de las clases siguientes*: |                  |                               |
| Clase A                                                                                                 | (105)            | (65)                          |
| Clase E                                                                                                 | (120)            | (80)                          |
| Clase B                                                                                                 | (130)            | (90)                          |
| Clase F                                                                                                 | (155)            | (115)                         |
| Clase H                                                                                                 | (180)            | (140)                         |
| Clase C                                                                                                 | (ver nota)       | (ver nota)                    |

\* Las clases son de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-J-153.

1. Si el fabricante usa recubrimientos diferentes, las propiedades de estos materiales deben ser tomados en consideración.
2. La temperatura o la elevación de temperatura no deben alcanzar valores tales que cambien la elasticidad de los metales.
3. Los límites son solamente los requeridos para no causar ningún daño a las partes circundantes.

Fuente: NMX-J-153

Tabla 2.147 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador)

| Limitaciones sobre el lugar                      | Impedancia nominal del transformador | Protección del primario,<br>más de 600 volts |                           | Protección del secundario<br>(ver la Nota 2) |                           |                                                    |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                  |                                      |                                              | Más de 600 volts          |                                              | 600 volts o menos         |                                                    |
|                                                  |                                      | Interruptor automático<br>(ver la Nota 4)    | Valor nominal del fusible | Interruptor automático<br>(ver la Nota 4)    | Valor nominal del fusible | Valor nominal del interruptor automático o fusible |
| Cualquier lugar                                  | No más del 6%                        | 600%                                         | 300%                      | 300%                                         | 250%                      | 125%                                               |
|                                                  |                                      | (ver Nota 1)                                 | (ver Nota 1)              | (ver Nota 1)                                 | (ver Nota 1)              | (ver Nota 1)                                       |
|                                                  | Más del 6%, pero máximo el 10%       | 400%                                         | 300%                      | 250%                                         | 225%                      | 125%                                               |
|                                                  |                                      | (ver Nota 1)                                 | (ver Nota 1)              | (ver Nota 1)                                 | (ver Nota 1)              | (ver Nota 1)                                       |
| Lugares supervisados únicamente<br>(ver Nota 3). | Cualquiera                           | 300%                                         | 250%                      | No se exige                                  | No se exige               | No se exige                                        |
|                                                  |                                      | (ver Nota 1)                                 | (ver Nota 1)              |                                              |                           |                                                    |
|                                                  | No más del 6%                        | 600%                                         | 300%                      | 300%                                         | 250%                      | 250%                                               |
|                                                  |                                      |                                              |                           | (ver Nota 5)                                 | (ver Nota 5)              | (ver Nota 5)                                       |
|                                                  | Más del 6% pero máximo el 10%        | 400%                                         | 300%                      | 250%                                         | 250%                      | 250%                                               |
|                                                  |                                      |                                              |                           | (ver Nota 5)                                 | (ver Nota 5)              | (ver Nota 5)                                       |

NOTAS:

1. Cuando el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste estándares, se permitirá tomar el valor nominal o ajuste estándar inmediatamente superior
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente del secundario, se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del secundario esté compuesto por un máximo de seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de los valores nominales de los dispositivos no debe exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente. Si como dispositivo de protección contra sobrecorriente se utilizan tanto interruptores como fusibles, el total de los valores nominales del dispositivo no debe exceder el permitido para los fusibles
3. Un lugar supervisado es aquel en que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solamente personal calificado supervisará y prestará servicio a la instalación de transformadores
4. Los fusibles accionados electrónicamente que se puedan ajustar para abrir a una corriente específica se deben ajustar de acuerdo con los ajustes para interruptores automáticos
5. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga no tenga protección independiente del secundario

Fuente: NOM-001-SEDE.

Tabla 2.148 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 600 volts y menos (como un porcentaje nominal de la corriente nominal del transformador)

| Método de protección                 | Protección del primario       |                                  |                                  | Protección del secundario     |                                  |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|                                      | Corrientes de 9 amperes o más | Corrientes de menos de 9 amperes | Corrientes de menos de 2 amperes | Corrientes de 9 amperes o más | Corrientes de menos de 9 amperes |
| Protección del primario solamente    | 125 %<br>(véase nota 1)       | 167%                             | 300%                             | No se requiere                | No se requiere                   |
| Protección del primario y secundario | 250 %<br>(véase nota 3)       | 250 %<br>(véase nota 3)          | 250 %<br>(véase nota 3)          | 125 %<br>(véase nota 1)       | 167 %                            |

NOTAS:

1. Cuando el 125 por ciento de la corriente no corresponde a un valor estándar de un fusible o interruptor automático no ajustable, se permitirá elegir el valor nominal estándar inmediatamente superior
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente en el secundario, se permitirá que el dispositivo de sobrecorriente del secundario esté compuesto por máximo seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de todos los valores nominales de los dispositivos no deben exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente
3. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga y dispuesta para interrumpir la corriente del primario, tenga protección contra sobrecorriente en el primario con valor nominal o ajuste a un valor de corriente que no sea más de seis veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que no tienen una impedancia de más del 6 por ciento y no más de cuatro veces la corriente nominal del transformador, para transformadores que tienen una impedancia de más del 6 por ciento pero no más del 10 por ciento

Fuente: NOM-001-SEDE.

## 2.14. BANCOS Y CARGADORES DE BATERÍAS<sup>13</sup>

### 2.14.1. CARGADORES DE BATERÍAS

Cuando se presenta la necesidad de alimentar eléctricamente una instalación en condiciones de seguridad, no puede tolerarse ningún corte de energía, es por esto que se debe considerar en el diseño eléctrico el arreglo banco-cargador de baterías.

El cargador de baterías debe ser diseñado para uso industrial y servicio interior, las funciones deben ser controladas por microprocesador, fabricado con componentes de estado sólido. La fuente de energía eléctrica al cargador debe ser de corriente alterna y salida en corriente continua.

El cargador debe ser fabricado con componentes de electrónica de estado sólido, con control de voltaje constante, autorregulado, con rectificación de onda completa. De 2 pulsos para monofásicos y de 6 o 12 pulsos para trifásicos a base de Transistores bipolar de compuerta aislada (IGBT's) o tiristores (SCR's). El suministro de energía eléctrica al cargador debe ser de corriente alterna y la salida de corriente continua.

Los requisitos básicos para la selección del cargador de baterías son:

- j) Un valor seguro de la corriente de carga durante el tiempo que dure en operación la carga
- k) Cumplimiento de la carga en un período de tiempo compatible con el servicio involucrado

- l) Terminación exacta de la carga cuando se complete o reducción de la corriente a un valor de mantenimiento seguro

Además de los requisitos anteriores el cargador debe tener de:

- a) Máxima confiabilidad
- b) Operación automática
- c) Simplicidad en su diseño y construcción
- d) Eficiencia y FP aceptables

Existen tres tipos de cargadores de baterías, de acuerdo a los métodos de carga, los tipos de cargadores más comunes son:

#### *Cargadores a tensión constante*

En este tipo de cargadores la tensión de salida del cargador permanece constante durante todo el tiempo de carga. Se usa para los métodos de operación en flotación y para carga en potencial constante modificado; en donde si no se modifica el potencial, el resultado son regímenes de inicio extremadamente altos, requiriendo equipo extremadamente grande y costoso.

En carga de potencial constante modificado, la tensión del cargador permanece constante, pero se incluye una resistencia en la batería para limitar la corriente.

Para la carga en flotación, el valor de la tensión debe ser tal que se le suministre a la batería la corriente necesaria para compensar sus pérdidas internas y mantenerla completamente cargada pero sin sobrecarga apreciable (gasificación excesiva).

<sup>13</sup> Fuente: IEEE STD 1115-2000, NRF-196- Pemex

### ***Cargadores a corriente constante***

En este tipo de cargadores, la corriente se limita a un valor casi constante y la tensión de la batería es incrementada paulatinamente. Se puede usar para baterías almacenadas o bien en baterías que sólo se usan en caso de emergencia pero que no están constantemente conectadas a una carga determinada.

### ***Cargadores de carga disminuida***

En este caso se inicia con una corriente moderadamente alta y que se reduce gradualmente a un régimen bajo, conforme se incrementa la tensión de la batería.

En cualquiera de los casos anteriores, para obtener una mejor operación, se debe considerar la carga de flotación, ya que la mayoría de las baterías estacionarias están conectadas continuamente a circuitos vitales, los cuales deben estar energizados todo el tiempo. El cargador se ajusta a una tensión la cual permite a la batería absorber la cantidad justa de corriente para mantenerse plenamente cargada, con lo que el cargador proporciona corriente para el circuito conectado. A esto se le llama carga en flotación.

Esto garantiza una batería completamente cargada y lista para cualquier emergencia.

No se aceptan baterías con contenido de plomo en ninguna de sus presentaciones

En la Tabla 2.149 Tabla 2.150 y Tabla 2.151 se muestran algunos de los valores de tensión de ajuste de los cargadores y las tensiones nominales de salida respectivamente, de los diferentes tipos

de baterías. La Ilustración 2.42 es un ejemplo de cargadores de baterías.

#### **2.14.1.1. Capacidad de carga**

El cargador de baterías debe cumplir con las funciones siguientes:

- a) Alimentar el consumo constante de amperes en corriente continua.
- b) Recargar la batería (carga de igualación).
- c) Mantener cargada la batería (carga de flotación)

A menos que se especifique otro valor en la hoja de especificaciones el cargador de baterías debe suministrarse según aplique como sigue:

- a) Para cargadores monofásicos debe ser de 6 a 30 A
- b) Para cargadores trifásicos de 35 a 600 A

El cargador de baterías debe tener capacidad suficiente para alimentar la carga total y recargar la batería desde condiciones de descarga total hasta 75 por ciento de su capacidad en 10 horas de operación, a las condiciones de altitud y temperatura indicadas.

Ilustración 2.42 Cargador de baterías



#### 2.14.1.2. Fase

Alimentación de línea normal:

- Cargador monofásico
- Cargador trifásico

Los cargadores deben de operar normalmente bajo las siguientes condiciones según:

- a) Temperatura ambiente entre - 10 °C y 55 °C, salvo que se indique otra cosa en las características particulares. Humedad relativa entre 10 % y 95 % sin que se presente condensación en el interior del mismo
- b) Altitud sobre el nivel del mar 2 300 m

#### 2.14.1.3. Construcción

A continuación se describen los principales componentes constructivos con los que debe de contar en un cargador de baterías.

- a) Un transformador de aislamiento tipo seco, impregnado al vacío con barniz para alta temperatura, trifásico o monofásico, para aislar eléctricamente de la fuente de alimentación y para reducir la tensión a niveles propios para el rectificador
- b) Un rectificador del tipo estado sólido, potencia constante, fase controlada, rectificación de onda
- c) completa, a seis pulsos como mínimo para rectificador trifásico
- d) Filtros de entrada para eliminar armónicos y mantener el voltaje de rizo a 0,1 V RMS (valor cuadrático medio) máximo, con batería conectada
- e) Un circuito automático para ajuste de tensión nominal, de igualación y flota-

ción, control manual en el panel frontal o relevador de tiempo para control de carga de igualación

- f) Instrumentos de medición, protección, alarmas y señalización, los instrumentos de medición y alarma deben ser del tipo estado sólido y digital. Los mínimos que se requieren son los siguientes:
  - Amperímetro digital de corriente continua
  - Voltímetro digital de corriente continua
  - Voltímetro digital de corriente alterna de entrada
- g) Protecciones mínimas
- h) Alarmas visuales y audibles
- i) Señalización en panel frontal
- j) Lámparas indicadoras
- k) Puertos de comunicación
- l) Interfaz Humano-Máquina
- m) Contactos libres de tensión

#### 2.14.1.4. Tensiones de operación

Las tensiones de operación para la selección son las siguientes:

- a) Alimentación de línea normal:
  - Cargador monofásico: 220 o 127 V c.a., 2 fases o 1 fase, 2 hilos más 1 hilo de tierra.
  - Cargador trifásico: 480 o 220 V c.a., 3 fases, 3 hilos más 1 hilo de tierra
- b) Variación de tensión:  $\pm 10$  por ciento
- c) Variación de frecuencia:  $\pm 5$  por ciento
- d) Tensión nominal de salida: 12, 24, 48 ó 125 V c.c. (De acuerdo a requerimiento)
- e) Tensión de flotación por celda a 25 °C: 1.35 - 1.45
- f) Tensión de carga de igualación por celda a 25 °C: 1.45 - 1.55

- g) Regulación de tensión  $\pm 0,5$  por ciento
- h) Máxima corriente de salida: 110 por ciento
- i) Factor de potencia mínimo: 85 por ciento

## 2.14.2. BANCO DE BATERÍAS

### 2.14.2.1. Capacidad de las baterías

Las baterías se deben alojar en bastidor abierto de acero estructural soldado. La estructura debe tener una base aislante para depositar las celdas y una barrera al final de cada lado de la hilera para evitar caídas (ver Ilustración 2.43).

Se debe determinar en base al ciclo de descarga de la batería, una secuencia de operación lógica de eventos de descarga, establecida de acuerdo a cálculos, y una tensión al final de la descarga de 1.05 V/celda. Se establece esta tensión para mejor aprovechamiento de la capacidad de las baterías. El por ciento de capacidad disponible para aplicación a futuro en nuevos proyectos se determina el 20 por

ciento y para sustitución de equipo existente podrá ser de la misma capacidad o como se solicite.

La capacidad nominal de la batería es expresada en Amperes-hora (Ah) referida a un régimen de descarga de 5 horas, a 20°C y un voltaje final por celda de 1,05. No debe haber disminución de capacidad por temperatura ambiente de 20°C hasta 25°C

### 2.14.2.2. Tensiones y rangos de operación

Cada celda debe cumplir con las características eléctricas siguientes:

- j) Tensión nominal por celda: 1.2 V/celda
- k) Temperatura nominal: 20°C a 25°C
- l) Rango de tensión de flotación a 25°C: 1.35 a 1.45 V/celda
- m) Rango de tensión de carga de igualación a 25°C: 1.45 a 1.55 V/celda
- n) Tensión final de descarga: 1,05 V/celda como mínimo

Ilustración 2.43 Banco de baterías



Tensión nominal y número de celdas. La batería debe cumplir con los requisitos para las tensiones nominales indicadas en la Tabla 2.149.

#### 2.14.2.3. Componentes de un banco de baterías

- a) Placas
- b) Separador entre placas
- c) Terminales de interconexión
- d) Electrolito
- e) Vaso y cubierta
- f) Cada celda debe tener identificación permanente grabada con la siguiente información:
  - Nombre del fabricante y país de origen
  - Nombre o tipo del producto
  - Modelo
  - Capacidad en Amperes-hora
  - Régimen de descarga
  - Fecha de fabricación
- g) Capacidad de las baterías
- h) Tiempo de respaldo

#### 2.14.3. CONDICIONES AMBIENTALES Y ATMOSFÉRICAS

El equipo debe operar satisfactoriamente en las siguientes condiciones:

- a) Temperatura
  - El cargador de baterías debe operar en forma continua en un rango de temperatura ambiente de -10°C a 40°C
  - El banco de baterías debe de operar a condiciones extremas de operación en un rango de temperatura de

-10°C a 45°C; aun con disminución de eficiencia y vida útil

#### b) Humedad relativa

- El rango de operación debe ser del 10 al 95 por ciento sin condensación

#### c) Nivel de ruido máximo

- El nivel de ruido máximo del cargador debe ser menor a 65 dB a 1 m de distancia del equipo, medido de acuerdo a la NOM-081-SEMARNAT

#### d) Altitud

- El equipo debe ser diseñado para operar a una altitud mínima de 1 000 m.s.n.m., o la que se especifique en el proyecto

#### 2.14.4. CONDICIONES DE OPERACIÓN

##### 2.14.4.1. Baterías níquel-cadmio

#### ***Vida útil***

La vida promedio dependiendo de la aplicación se considera entre 10 y 25 años.

#### ***Almacenaje y sitio de instalación***

En condiciones de almacenaje poseen muy baja autodescarga, aproximadamente del 65 al 80 por ciento de la capacidad nominal disponible se conservan después de un período de seis meses de almacenaje. No se desprenden gases corrosivos durante la carga, por lo que la batería puede ser instalada en el mismo cuarto que otros equipos.

En caso de bancos de baterías usados en subestaciones; las recomendaciones y características que debe tener el local donde se instalen serán de norma.



## **Confiabilidad**

Las baterías Ni-Cd son consideradas como muy confiables, ya que ninguno de sus componentes son afectados por reacciones electroquímicas o por el electrólito, no existen fallas súbitas.

## **Características físicas y necesidades de mantenimiento**

Son dimensionalmente robustas debido a la resistencia de sus componentes de acero y al diseño soldado y atornillado de las celdas, puede llegar a soportar choques y vibraciones muy severas.

No se requiere añadir agua frecuentemente, se consideran períodos largos de aproximadamente entre 3 meses a 10 años dependiendo de la aplicación.

El cambio del electrólito no es necesario en la mayoría de los casos.

Para seleccionar y determinar la capacidad del banco de baterías, es necesario tomar en cuenta las siguientes características, ver Ilustración 2.43.

### **2.14.4.2. Necesidades de servicio**

Es necesario determinar con exactitud las características eléctricas de los aparatos o dispositivos que serán alimentados por el banco de baterías, así como el ciclo de operación.

Las cargas que estarán conectadas a las barras de corriente directa son:

- a) Bobinas de cierre
- b) Bobinas de disparo
- c) Lámparas de señalización
- d) Relevadores de protección
- e) Relevadores auxiliares
- f) Cuadros de alarma

### **2.14.4.3. Factor de potencia**

El cargador de baterías debe tener un factor de potencia mayor o igual a 0.9 verificando conforme al método de prueba “Factor de potencia”, de la NMX-I-53 para los regímenes de flotación e igualación.

### **2.14.4.4. Eficiencia**

Para la tensión nominal especificada los valores de eficiencia mínimos para los cargadores de baterías deben ser los que se indican en la Tabla 2.151.

### **2.14.4.5. Selección de gabinete según especificaciones de CFE**

El gabinete del cargador de baterías debe cumplir con lo siguiente:

- Debe estar formado por un armazón de lámina de acero estructural de calibre no menor 3.18 mm de diámetro, paneles y puertas con calibre no menor de 1.98 mm de diámetros

Tanto las estructuras como los gabinetes se deben limpiar en toda la superficie con chorro de

arena o granalla de grano comercial, o en su defecto tratar la superficie químicamente y recubirla con fosfato de zinc.

Antes del acabado final del equipo, se debe aplicar en seco una capa de epóxico catalizador de 0.025 mm de espesor. El acabado final de estructuras y gabinetes debe consistir de epóxico catalizado color gris. La aplicación del acabado final se debe hacer en seco y como mínimo dos capas de 0.038 mm de espesor cada una.

- El gabinete del cargador de baterías debe ser auto soportado y de ser necesario que integre un bastidor de tal manera que los instrumentos de medición contenidos en el gabinete queden a una altura de 1.50 m con respecto al nivel de piso termina-

do excepto cuando se indique lo contrario en características particulares y con la parte posterior diseñada para instalarse junto a la pared

- El acceso al gabinete debe ser frontal
- El cargador de baterías y el gabinete deben ser autoenfriados, esto es, tener enfriamiento por convección natural. No se aceptan cargadores con ventilación forzada. En caso necesario los gabinetes pueden estar previstos de ventilas laterales o en el frente del gabinete
- El gabinete debe contar con los medios adecuados para su izaje y soporte adecuados
- El sistema de c.a. del cual se alimenta el cargador de baterías debe estar sólidamente conectado a tierra

Tabla 2.149 Tensiones nominales de salida para baterías de níquel-cadmio

| Tensión nominal del sistema (Vc.d.) | Número de celdas | Tensión mínima del sistema (V c.d.) | Tensión máxima del sistema (V c.d.) |
|-------------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 12                                  | 9-10             | 10                                  | 15                                  |
| 24                                  | 19-20            | 20                                  | 30                                  |
| 48                                  | 38-40            | 42                                  | 50                                  |
| 125                                 | 92-100           | 105                                 | 145                                 |

Fuente: IEEE STD 1115-2000

Tabla 2.150 Tensiones nominales de alimentación de cargadores de baterías

| Tensión de alimentación | Sistema               |
|-------------------------|-----------------------|
| 127 V                   | Monofásica-2 hilos    |
| 220 V                   | Trifásica-3 o 4 hilos |
| 460 V                   | Trifásica-3 o 4 hilos |

Tabla 2.151 Eficiencia de cargadores de batería

| Corriente de salida (A) | Carga | Eficiencia mínima |
|-------------------------|-------|-------------------|
| Menores de 12           | 50%   | 45%               |
|                         | 100%  | 65%               |
| De 12 a 50              | 50%   | 60%               |
|                         | 100%  | 75%               |
| Mayores de 50           | 50%   | 70%               |
|                         | 100%  | 35%               |

## 2.15. EQUIPOS AUXILIARES DE CONTROL <sup>14</sup>

### 2.15.1. TIPOS DE EQUIPOS O DISPOSITIVOS

Los equipos auxiliares de control utilizados comúnmente son:

- a) Relevadores
- b) Alternadores
- c) Secuenciadores
- d) Controladores programables
- e) Conmutadores de control
- f) Estaciones de botones
- g) Lámparas de señalización y alarma
- h) Interruptores de límite
- i) Interruptores de nivel
- j) Interruptores de presión
- k) Interruptores de temperatura
- l) Cuadros de alarma
- m) Arrancador
- n) Desconectador
- o) Seccionador

La operación de los elementos antes citados se realiza normalmente en circuitos de corriente alterna, aunque en algunas instalaciones se hace en circuitos de corriente directa o combinaciones de ambas.

Es el caso de los controladores lógicos programables, cuya operación es solo en sistemas de c.a.

#### **Esquema de conexión**

Los esquemas típicos de conexión se muestran en la información de fabricante.

El calibre debe ser dimensionado de acuerdo a la distancia existente.

#### **Rendimiento**

En el caso de los contactores, su eficiencia está determinada por la potencia requerida en VA necesarios para producir la operación de cierre de los mismos y su sostenimiento en esta posición; el caso de los relevadores es similar a lo anterior. En el caso de los interruptores, su eficiencia estará determinada por la exactitud de disparo en un rango predeterminado.

#### **Instalación y puesta en marcha**

Deben realizarse de acuerdo a los requerimientos específicos del proyecto y del propio equipo.

Ejemplos de lo anterior son: el tipo de gabinete, el ambiente, la posición dentro del gabinete, etcétera.

Así mismo, antes del arranque y puesta en marcha deberán realizarse las pruebas de operación, tensión y/o corriente de operación, Para mayor abundamiento ver el libro de *Pruebas, Puesta en Servicio, Operación y Mantenimiento de Equipo y Materiales Electromecánicos* del MAPAS".

#### **Conectividad.**

La selección de los dispositivos de control debe garantizar la conectividad y la correcta operación de los propios equipos y sus auxiliares (transformadores de control, resistencias, etc.).

Por lo anterior, se prefiere la conectividad que garantiza una sólida conexión entre los equipos,

---

<sup>14</sup> Fuente: NMX-J-538/1

con terminales que eviten su separación por vibración, impacto, etcétera. Sin embargo, en el caso de equipos (PLC's y similares) conectados a través de transductores, se prefieren conectores del tipo de enchufar preformados, a fin de obtener accesibilidad para mantenimiento y pruebas de campo. Para los equipos que se interconectan a sistemas de cómputo, su alambrado deberá ser del tipo de transmisión de datos.

### **Características operativas**

- a) Forma de servicio continuo
- b) Tipo de servicio de uso rudo
- c) Tensión nominal
- d) Clase de aislamiento
- e) Sistema de tierras

La clase de aislamiento normalizado de los equipos electromecánicos es de 60, 250, 300 y 600 volts en c.a y máximo de 250 volts en c.d.

La clase de aislamiento de los equipos estáticos varía según el tipo de equipo, siendo similar al anterior para relevadores.

En el caso de controladores lógicos programables (PLC's) el máximo es 250 volts para salidas tipo relevador. Para el sistema de tierras seguir consideraciones de fabricante.

### **2.15.2. CLASE**

De acuerdo con el método de operación del equipo

- a) Manualmente:
  - Operación manual independiente
  - Operación manual dependiente
  - Operación semi - independiente

- b) Semiautomática
- c) Automática

De acuerdo al número de ciclos de operación que son capaces de realizar por hora, los equipos se dividen en las clases siguientes (Tabla 2.152):

### **2.15.3. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**

#### **2.15.3.1. Numero de polos**

Se considera la clasificación siguiente

- a) Polifásico
- b) Monofásico
- c) Trifásico

#### **2.15.3.2. Tipos de corriente**

Un equipo se define por las corrientes siguientes:

#### **Corriente térmica convencional al aire libre**

La corriente térmica convencional al aire libre es el valor máximo de la corriente de prueba a utilizar para las pruebas de elevación de temperatura al aire libre de un equipo sin envolvente.

Tabla 2.152 Clases de ciclos de operación

| Tipo  | No.     | Definición                  |
|-------|---------|-----------------------------|
| clase | 1       | ciclo de operación por hora |
| clase | 3       | ciclo de operación por hora |
| clase | 12      | ciclo de operación por hora |
| clase | 30      | ciclo de operación por hora |
| clase | 120     | ciclo de operación por hora |
| clase | 300     | ciclo de operación por hora |
| clase | 1 200   | ciclo de operación por hora |
| clase | 3 000   | ciclo de operación por hora |
| clase | 12 000  | ciclo de operación por hora |
| clase | 30 000  | ciclo de operación por hora |
| clase | 120 000 | ciclo de operación por hora |
| clase | 300 000 | ciclo de operación por hora |

Se entiende por aire libre como el aire bajo condiciones normales en interiores, razonablemente libre de corrientes de aire y radiaciones externas.

**Nota: 1** Esta corriente no es un valor nominal y no se marca obligatoriamente en el equipo. Un equipo sin envolvente es un equipo proporcionado por el fabricante sin un envolvente o un equipo proporcionado por el fabricante con un envolvente integral que normalmente no está destinado a ser el único envolvente protector del equipo.

#### ***Corriente térmica convencional encerrada***

La corriente térmica convencional encerrada es el valor de la corriente establecida por el fabricante para utilizarse en las pruebas de elevación de temperatura del equipo cuando está instalado en un envolvente especificado y son obligatorias si el equipo se describe como equipo encerrado en los catálogos del fabricante

#### ***Corriente de operación asignada o potencia de operación asignada***

La corriente de operación asignada de un equipo la establece el fabricante tomando en consideración la tensión de operación asignada, la frecuencia asignada, el servicio asignado, la categoría de utilización y el tipo de envolvente protector, si es apropiado.

En el caso de equipo para conmutación directa de motores individuales, la indicación de la corriente de operación asignada puede reemplazarse o complementarse por una indicación de la máxima potencia de salida asignada, a la

tensión considerada de operación asignada, del motor para el cual el equipo está destinado. El fabricante debe estar prevenido para establecer la relación supuesta entre la corriente de operación y la potencia de operación, si existen.

#### ***Corriente ininterrumpida asignada***

La corriente ininterrumpida asignada de un equipo es un valor de corriente, establecido por el fabricante, que los equipos pueden conducir en servicio ininterrumpido

#### **2.15.3.3. Tensión de alimentación y rango**

De acuerdo con las normas oficiales mexicanas, las tensiones de alimentación son las siguientes:

- a) Para sistemas de corriente alterna: 120 y 220 V.c.a.
- b) Para sistemas de corriente directa: 12, 24, 48, 125 y 250 V c.d

Los equipos deben soportar sin dañarse el 110 por ciento de la tensión nominal en c.a. o c.d. y deben operar correctamente al 85 por ciento de su tensión nominal de c.a y el 80 por ciento en c.d.

Para correspondencia entre la tensión nominal de suministro del sistema y la tensión de aguan- te del equipo, ver Tabla 2.153 y Tabla 2.154.

#### ***Calibre de conductores***

El calibre del conductor desde el tablero de control hasta el equipo controlado, debe ser de calibre 14 AWG como mínimo.

#### 2.15.3.4. Capacidad

Los equipos cubiertos en este capítulo no cuentan con una capacidad interruptiva como tal dentro de sus características, ya que esta facultad la proporcionan equipos de protección como son los interruptores termomagnéticos, electromagnéticos o los fusibles. Para los equipos cubiertos en este capítulo sólo se debe considerar la característica de capacidad nominal de apertura o cierre bajo ciertas condiciones de carga (resistiva, inductiva o capacitiva).

#### 2.15.3.5. Medio de interrupción

La corriente ininterrumpida asignada de un equipo es un valor de corriente, establecido por el fabricante, que los equipos pueden conducir en servicio ininterrumpido

**NOTA 1:** Un dispositivo de conmutación puede tener más de una capacidad de interrupción asignada, cada una correspondiendo a una tensión de operación y una categoría de utilización.

Para c.a., la capacidad de interrupción asignada se expresa por el valor eficaz de la componente simétrica de la corriente.

**NOTA 2:** Cuando sea aplicable, la norma específica del producto establece la relación entre la capacidad de interrupción asignada y la categoría de utilización.

### 2.15.4. CONDICIONES DE OPERACIÓN

#### 2.15.4.1. Altitud

La altitud del lugar de la instalación no debe exceder 2 000 m

**NOTAS 1:** Para el equipo que se va a utilizar a altitudes mayores, es necesario tener en cuenta la reducción del esfuerzo dieléctrico y el efecto refrescante del aire. El equipo eléctrico destinado para operar bajo estas condiciones, debe diseñarse o utilizarse según las condiciones de uso.

**NOTAS 2:** En México se fabrican y utilizan equipos para altitudes mayores que 2000 m. En este caso es necesario que los fabricantes consideren las variaciones de diseño, por ejemplo elevación de temperatura, nivel de aislamiento y parámetros mecánicos, así como realizar los ajustes necesarios o informar al usuario sobre los ajustes de los factores que apliquen a las condiciones normales de servicio.

#### 2.15.4.2. Temperatura

La temperatura del aire ambiente no debe exceder de + 40 °C y su promedio en un período de 24 h no debe exceder de + 35 °C.

El límite inferior de la temperatura del aire ambiente es - 5 °C.

La temperatura del aire ambiente es la que existe alrededor del equipo si se proporciona sin envolvente, o alrededor del envolvente si se proporciona con un envolvente.

**NOTA:** Los equipos diseñados para utilizarse en temperaturas superiores a los + 40 °C (por ejemplo, forjas, cuartos de calderas, países tropicales) o por debajo de - 5 °C (por ejemplo -25 °C, como se requiere en la IEC 60439-1 para los ensambles de productos de distribución y de control de baja tensión instalados al aire libre), deben diseñarse o utilizarse de acuerdo con la norma específica del producto, cuando sea aplicable, o según las con-

diciones de uso. La información proporcionada en el catálogo del fabricante puede tomar el lugar de dichas especificaciones.

El valor de referencia normalizado para la temperatura del aire en algunos tipos de equipos, por ejemplo: interruptores automáticos o relevadores de sobrecarga para arrancadores, se indica en la norma específica del producto.

## 2.15.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

### 2.15.5.1. Humedad

La humedad relativa del aire no debe exceder del 50 % a una temperatura máxima de + 40 °C. Pueden permitirse humedades relativas superiores a temperaturas inferiores, por ejemplo, 90 % a + 20 °C. En caso de condensaciones ocasionales debidas a las variaciones de temperatura pueden ser necesarias medidas especiales.

NOTA: Los grados de contaminación, como se establecen en el siguiente punto, definen las condiciones ambientales con mayor precisión.

### 2.15.5.2. Grados de contaminación

El grado de contaminación se refiere a las condiciones ambientales para las cuales el equipo está destinado.

**NOTA:** El microambiente de la distancia de fuga o de la distancia de aislamiento y no el medio ambiente del equipo, determinan el efecto en el aislamiento. El microambiente puede ser mejor o peor que el medio ambiente del equipo. Éste incluye todos los factores que influyen en el aislamiento, tales como condiciones climatológicas y electromagnéticas, la generación de contaminación, etc.

Para equipo destinado a utilizarse dentro de un envoltorio o proporcionado con un envoltorio integral, se aplica el grado de contaminación del medio ambiente en el envoltorio.

### *Grado de contaminación 1*

Sin contaminación o sólo ocurre una contaminación seca no conductora.

### *Grado de contaminación 2*

Normalmente sólo ocurre contaminación no conductora. Sin embargo, ocasionalmente, puede presentarse una conductividad temporal causada por condensación.

### *Grado de contaminación 3*

Ocurre contaminación conductora o contaminación seca no conductora que se convierte en conductora debido a la condensación.

### *Grado de contaminación 4*

La contaminación genera conductividad persistente causada, por ejemplo, por polvo conductor o por lluvia o nieve.

### *Grado de contaminación normal de aplicaciones industriales*

A menos que se establezca otra cosa en la norma específica del producto, el equipo para aplicaciones industriales generalmente es para uso en un medio ambiente con grado de contaminación 3. Sin embargo, se pueden considerarse otros grados de contaminación dependiendo de las aplicaciones particulares o del microambiente.



**NOTA:** El grado de contaminación del microambiente para el equipo puede influenciarse por la instalación en un envolvente.

### ***Grado de contaminación normal de casa habitación y aplicaciones similares***

A menos que se establezca otra cosa en la norma específica del producto, el equipo para casa habitación y aplicaciones similares generalmente es para uso en un ambiente con grado de contaminación 2.

#### **2.15.5.3. Envolvente**

El envolvente debe seleccionar de forma que, cuando se abra y se retire cualquier medio de protección, si existen, todas las partes que requieren acceso para la instalación y mantenimiento, según lo establezca el fabricante, sean fácilmente accesibles.

Con el fin de asegurar la conexión adecuada de los conductores externos, debe proporcionarse un espacio suficiente dentro del envolvente para acomodarlos, desde su punto de entrada en el envolvente hasta las terminales.

Las partes fijas de un envolvente metálico deben conectarse eléctricamente a las otras partes conductoras expuestas del equipo y conectarse a una terminal que les permita ser puestas a tierra o conectarse a un conductor protector.

Bajo ninguna circunstancia una parte metálica removible del envolvente debe aislarse de la parte conductora de las terminales a tierra, cuando la parte removible está en su lugar.

Las partes removibles del envolvente deben asegurarse firmemente a las partes fijas por medio

de un dispositivo tal, que no permita que las partes removibles puedan soltarse accidentalmente o desprenderse debido a los efectos de operación del equipo o a vibraciones.

Se considera que un envolvente integral es una parte no removible.

Si el envolvente se usa para el montaje de botones pulsadores, los botones deben retirarse por la parte interior del envolvente. Para retirarlos por la parte exterior, debe ser necesario el empleo de una herramienta diseñada para tal propósito.

### ***Aislamiento***

Si para prevenir el contacto accidental entre un envolvente metálico y las partes vivas el envolvente está parcialmente o completamente revestido con material aislante, el revestimiento debe asegurarse fijamente al envolvente ver Tabla 2.92 y Tabla 2.93.

## **2.15.6. RECOMENDACIONES**

### **2.15.6.1. Clasificación de área**

De acuerdo con la clasificación de áreas que se realice para la instalación hídrica, deben seleccionarse los equipos de control y en particular la envolvente del dispositivo. Para aplicaciones especiales se especifican gabinetes que proporcionan al equipo la protección adecuada. Por ejemplo:

- Hermético al agua y al polvo (NEMA 4)
- A prueba de gases explosivos (NEMA 7)
- Hermético al polvo y al goteo (NEMA 12). Uso en interiores

#### Nota Importante:

En instalaciones como plantas desaladoras, deberá tenerse especial atención a la alta salinidad, para seleccionar los enclaus-tramiento y envoltorios de los equipos, inclusive el material del que se componen, como buses, conectores, etcétera.

#### 2.15.6.2. Tipo de montaje

Se debe de considerar el tipo de montaje (gabinete, tablero, soporte) al seleccionar equipos de control y su cubierta.

#### 2.15.6.3. Vibración

Para aplicaciones especiales, se especifican equipos auxiliares de control con accesorios en sus partes móviles que eliminan los problemas de vibración dentro de ciertos rangos. Estas observaciones deben considerarse en los casos de aplicaciones en instalaciones móviles, como plantas de emergencia.

La selección de un equipo auxiliar de control consiste en definir una serie de características que tomen en cuenta las condiciones operativas y medio ambiente. Dependiendo del tipo de equipo que se trate, estas características pueden ser:

#### 2.15.6.4. Contactores

- Número de polos
- Número de contactos auxiliares
- Capacidad de corriente en amperes para 8 horas de contactos principales
- Capacidad de corriente en amperes para 8 horas de contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación de la bobina
- Tensión nominal de operación de los contactos

- Frecuencia
- Número de operaciones sin mantenimiento
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada
- Temperatura ambiente y la operación
- Altura de operación
- Capacidad interruptiva
- Tamaño NEMA
- Peso
- Señalizaciones

#### 2.15.6.5. Relevadores de control

- Tipo de principio de funcionamiento (electromecánico o electrónico estático)
- Tipo de restablecimiento
- Número, tipo y condición (NC, NA) de contactos
- Diagrama arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas, en los contactos
- Tensión nominal de operación de la bobina
- Tensión nominal de operación de los contactos
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada (NEMA, ICS)
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación

#### 2.15.6.6. Relevadores de tiempo

- Tipo de principio de funcionamiento (electromecánico o electrónico estático)
- Número, tipo y condición (NC, NA) de contactos
- Diagrama arreglo de contactos

- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas, en los contactos
- Tensión nominal de operación de la bobina
- Tensión nominal de operación de los contactos
- Frecuencia
- Rango de tiempo ajustable
- Tipo de operación temporizada (posterior al energizado o desenergizado a la bobina)
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación

#### 2.15.6.7. Alternadores, secuenciadores y controladores lógicos programables

- Tipo de principio de funcionamiento (electromecánico o electrónico estático)
- Número de relés operadores
- Número de contactos por relevador
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos de maniobra
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación de las bobinas
- Tensión nominal de operación de los contactos
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (fijo o en riel tipo din)
- Tipo de caja deseada
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación
- Tensión nominal de alimentación
- Norma de referencia

- Capacidad de memoria RAM
- Número de entradas
- Número de salidas
- Tipo de entradas (en c.a o c.d)
- Tipo de salidas (en c.a o c.d)
- Interfaces
- Cantidad de módulos de extensión (si se requieren)
- Humedad ambiental

#### 2.15.6.8. Conmutadores de control

- Número de contactos secos
- Diagrama de conexiones
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (en gabinete, tablero, etcétera)
- Dimensiones
- Tipo de caja deseada
- Tipo de palanca accionadora
- Temperatura ambiente y de operación
- Altura de operación

#### 2.15.6.9. Estaciones de botones

- Número de unidades completas y por unidad
- Número de contactos por botón
- Diagrama de conexiones
- Diagrama del arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (en gabinete, tablero, etcétera)

- Tipo de caja deseada
- Tipo de cubierta
- Tipo de contactos (sostenido, momentáneo, NA o NC, con seguro)

#### 2.15.6.10. Lámparas de señalización y alarma

- Tipo de conexión (directa, con resistencia, con transformador)
- Tipo de capuchón
- Color de capuchón
- Potencia de la lámpara
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (en gabinete, tablero, etcétera)
- Tipo de caja deseada
- Tipo de cubierta
- Temperatura ambiente y de operación

#### 2.15.6.11. Interruptores de límite, temperatura y presión

- Tipo de interruptor (tipo de variable y tipo de sensor)
- Número de contactos por interruptor
- Diagrama de conexiones
- Diagrama arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje deseado (vertical, horizontal)
- Tipo de caja deseada
- Leyendas sobre la cubierta de la caja
- Temperatura ambiente y de operación

- Altura de operación
- Rango de presión o temperatura y punto de disparo

#### 2.15.6.12. Interruptores de nivel

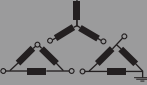
- Tipo de interruptor (flotador, electrónico, pera, etcétera)
- Número de contactos por interruptor
- Diagrama de conexiones
- Diagrama arreglo de contactos
- Capacidad de corriente, en amperes para 8 horas en todos los contactos auxiliares
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de montaje
- Temperatura ambiente del fluido
- Altura de operación

#### 2.15.6.13. Gabinetes de alarma

- Número de celdas (vertical y horizontal)
- Secuencia de operación
- Indicar si se incluye alarma acústica e intensidad deseada
- Tipo de lógica a utilizar (con relés encapsulados, de estado sólido, etc.)
- Tensión nominal de operación
- Frecuencia
- Tipo de gabinete
- Leyendas sobre la cubierta de las celdas
- Tamaño de letras
- Temperatura ambiente

Para mayor información referente la selección de equipos de control y distribución, consultar la NMX-J-538.

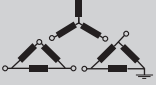
Tabla 2.153 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo (de acuerdo con la norma IEC 60099-1)

| Valor máximo de operación asignada a tierra c.a. valor eficaz o c.d. V | Tensión nominal del sistema de suministro ( $\leq$ tensión de aislamiento asignada del equipo)           |                                                                                                          |                                                                                                                 |                                                                                                                 | Valores preferentes de la tensión de aguante al impulso asignada (1,2/50 $\mu$ s) a 2 000 m kV |                                          |                                        |                                   |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|
|                                                                        | <br>c.a. valor eficaz V | <br>c.a. valor eficaz V | <br>c.a. valor eficaz o c.d. V | <br>c.a. valor eficaz o c.d. V | Categoría de sobretensión                                                                      |                                          |                                        |                                   |
|                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                          |                                                                                                                 |                                                                                                                 | IV<br>Nivel<br>Origen de la instalación (entrada de la acometida)                              | III<br>Nivel<br>Circuito de distribución | II<br>Nivel<br>Carga (aparato, equipo) | I<br>Nivel<br>Protección especial |
| 50                                                                     | -                                                                                                        | -                                                                                                        | 12.5, 24, 25                                                                                                    | 60-30                                                                                                           | 0.8                                                                                            | 0.5                                      | 0.33                                   | -                                 |
| 100                                                                    | 66/115                                                                                                   | 66                                                                                                       | 60                                                                                                              | -                                                                                                               | 1.5                                                                                            | 0.8                                      | 0.5                                    | 0.33                              |
| 150                                                                    | 120/208                                                                                                  | 115, 120                                                                                                 | 110, 120                                                                                                        | 220-110, 240-120                                                                                                | 2.5                                                                                            | 1.5                                      | 0.8                                    | 0.5                               |
| 300                                                                    | 220/380, 230/400, 240/415, 254/440, 277/480                                                              | 220, 230, 240, 254, 277                                                                                  | 220                                                                                                             | 400-220                                                                                                         | 4                                                                                              | 2.5                                      | 1.5                                    | 0.8                               |
|                                                                        | 347/600, 360/660, 400/690, 415/720, 480/830                                                              | 347, 380, 400, 415, 440, 480, 500, 577, 600                                                              | 480                                                                                                             | 960-480                                                                                                         | 6                                                                                              | 4                                        | 2.5                                    | 1.5                               |
| 1 000                                                                  | -                                                                                                        | 660, 690, 720, 830, 1 000                                                                                | 1 000                                                                                                           | -                                                                                                               | 8                                                                                              | 6                                        | 4                                      | 2.5                               |

En el caso de protección contra sobretensión por sistemas de distribución subterráneos o una exposición de bajos niveles keraunicos (densidad de incidencia de descarga atmosféricas en un área determinada), ver tabla abajo

Fuente: NMX-J-538/1

Tabla 2.154 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo que tiene una relación de la tensión de chispeo a la tensión asignada menor que la indicada en la norma IEC 60099-1

| Valor máximo de operación asignada a tierra c.a. valor eficaz o c.d. V | Tensión nominal del sistema de suministro ( $\leq$ tensión de aislamiento asignada del equipo)           |                                                                                                          |                                                                                                                 |                                                                                                                 | Valores preferentes de la tensión de aguante al impulso asignada (1,2/50 $\mu$ s) a 2 000 m kV |                                   |                                  |                              |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
|                                                                        | <br>c.a. valor eficaz V | <br>c.a. valor eficaz V | <br>c.a. valor eficaz o c.d. V | <br>c.a. valor eficaz o c.d. V | Categoría de sobretensión                                                                      |                                   |                                  |                              |
|                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                          |                                                                                                                 |                                                                                                                 | IV                                                                                             | III                               | II                               | I                            |
|                                                                        |                                                                                                          |                                                                                                          |                                                                                                                 |                                                                                                                 | Nivel<br>Origen de la instalación (entrada de la acometida)                                    | Nivel<br>Circuito de distribución | Nivel<br>Carga (aparato, equipo) | Nivel<br>Protección especial |
| 50                                                                     | -                                                                                                        | -                                                                                                        | 12.5, 24, 25<br>30, 42, 48                                                                                      | 60-30                                                                                                           | 1.5                                                                                            | 0.8                               | 0.5                              | 0.33                         |
| 100                                                                    | 66/115                                                                                                   | 66                                                                                                       | 60                                                                                                              | -                                                                                                               | 2.5                                                                                            | 0.5                               | 0.8                              | 0.5                          |
| 150                                                                    | 120/208                                                                                                  | 115, 120<br>127                                                                                          | 110, 120                                                                                                        | 220-110,<br>240-120                                                                                             | 4                                                                                              | 2.5                               | 1.5                              | 0.8                          |
| 300                                                                    | 220/380,<br>230/400<br>240/415,<br>254/440<br>277/480                                                    | 220, 230<br>240, 254<br>277                                                                              | 220                                                                                                             | 400-220                                                                                                         | 6                                                                                              | 4                                 | 2.5                              | 1.5                          |
|                                                                        | 347/600,<br>360/660<br>400/690,<br>415/720<br>480/830                                                    | 347, 380, 400<br>415, 440, 480<br>500, 577, 600                                                          | 480                                                                                                             | 960-480                                                                                                         | 8                                                                                              | 6                                 | 4                                | 2.5                          |
| 1 000                                                                  | -                                                                                                        | 660<br>690, 720<br>830, 1 000                                                                            | 1 000                                                                                                           | -                                                                                                               | 12                                                                                             | 8                                 | 6                                | 4                            |

Nota: Esta tabla puede aplicarse en el caso de protección contra sobretensión por sistemas de distribución subterránea o una exposición de bajos niveles keraunicos ( $\leq 25$ ).

Fuente: NMX-J-538/1

## 2.16. SELECCIÓN DE ARRANCADORES<sup>15</sup>

### 2.16.1. TAMAÑO

En la Tabla 2.155 se muestra el tamaño de terminales para la clasificación de los arrancadores.

### 2.16.2. CAPACIDAD INTERRUPTIVA

Es la corriente máxima que puede interrumpir un dispositivo a una tensión nominal determinada bajo condiciones de prueba. Esta capacidad está determinada en los arrancadores por sus contactos y cuando se tienen los arrancadores combinados con interruptores del tipo desconectador, fusibles, termomagnético o algún otro de similares características con la capacidad de éstos. Para los contactos en baja tensión las capacidades interruptivas son de 14 kA y 22 kA. Las capacidades de los interruptores se pueden consultar en este libro. Las capacidades en tensión media son de 50 kA en 2 300 V y 80 kA en 4 160 V.

#### 2.16.2.1. Corriente del transformador de control

##### **Corriente nominal**

Los elementos de los arrancadores deben conducir la corriente nominal del motor o grupo de motores en forma continua, este valor se obtiene de la placa de datos de los motores, en donde se indican las corrientes a plena carga para motores monofásicos y trifásicos respectivamente o en los catálogos de los fabricantes de arrancadores o motores.

##### **Corriente mínima**

Con la frecuencia y tensión primaria nominal aplicada al transformador, y con la corriente de sello de una carga individual, o con la corriente de sello o continua de la carga más ligera que se pudiera presentar en una multiplicidad de cargas, la tensión secundaria no debe ser mayor al 105 por ciento de la tensión nominal del circuito de control.

##### **Corriente máxima**

La impedancia efectiva del transformador debe ser tal que con la frecuencia y tensión nominales aplicadas al transformador, y con una impedancia de carga correspondiente al factor de potencia y el máximo valor de corriente de carga conectada al secundario, la tensión en las terminales secundarias no debe ser menor al 95 por ciento de la tensión nominal de las bobinas de operación.

Esta condición asegura el cumplimiento de esta parte cuando contactores individuales que cierran adecuadamente al 85 por ciento de la tensión nominal aplicada directamente a la bobina del contactor, cierran adecuadamente al 90 por ciento de la tensión nominal primaria del transformador, cuando se operen desde el secundario del transformador.

### 2.16.3. FASES

Se considera la clasificación siguiente

- c) Monofásico
- d) Trifásico

<sup>15</sup> Fuente: NOM-SEDE-001, NEMA ICS-2, NMX-J-290



Ilustración 2.44 Arrancador





## 2.16.4. TENSIÓN

### 2.16.4.1. Tensión de diseño

La tensión de operación máxima que pueden soportar los elementos de un arrancador sin sufrir deformaciones durante su operación es la de diseño y los distintos niveles de tensión son:

- Baja tensión en (V): 120/240, 220 Y/127, 480 Y/277, 115/230, 208Y/120, 460Y/265
- Media tensión en (V): 4 160, 13 800, 23 000, 34 500, 13 800Y/7 970, 23 000Y/ 13 280, 34 500Y/19 920, 4 000, 13 200

### 2.16.4.2. Tensión de operación

La tensión real a la cual funciona el sistema dentro de un rango permitido que proporcione un buen funcionamiento, este rango es generalmente entre el  $\pm 10\%$  de la tensión nominal.

### 2.16.4.3. Tensión de control

El control de los arrancadores se realiza en baja tensión con una tensión de 120 V.c.a y 12, 24, 48, 125 o 250 V.c.d. Conectados directamente del sistema de alimentación o con transformadores de control.

En media tensión el control se realiza igualmente a una tensión de 120 V.

## 2.16.5. TIPO DE ARRANQUE

### 2.16.5.1. Clasificación de los arrancadores

Los métodos de arranque de los motores de inducción se clasifican principalmente en:

- a) A tensión plena (directamente a la red)
- b) A tensión reducida
  - Por medio de un autotransformador
  - Por medio de resistencias en serie
  - Por devanado partido
  - Por cambio de conexión (estrella-delta)
- c) Por variador de frecuencia

### 2.16.5.2. Arrancadores a tensión plena tipo magnéticos para motores en baja tensión

Los arrancadores magnéticos constan principalmente de un interruptor accionado magnéticamente que está controlado mediante pulsadores. Están provistos de reles térmicos de protección de sobrecarga y de mínima tensión, por contar con elementos para proteger contra una baja tensión y sobrecarga son los más recomendables a emplear. Estos arrancadores se fabrican también en tipo reversible y no reversible, y en tensiones de diseño de 250 y 600 V (baja tensión) y en capacidades desde 1.11 Kw (1.5 h.p.) hasta 447.4 kW (600 h.p.). Los interruptores a tensión plena se encuentran en el mercado en combinación con otros dispositivos instalados en el mismo gabinete como lo son:

- Arrancador magnético e interruptor sin fusible del circuito del motor
- Arrancador magnético e interruptor con fusible del circuito del motor
- Arrancador magnético e interruptor de potencia

#### 2.16.5.3. Arrancadores a tensión plena para motores en media tensión (en aire o vacío) a 4160 volts

Los arrancadores a tensión plena en media tensión se encuentran en combinación con interruptores de potencia los que se emplean como medio de extinción del arco, cámaras de aire o vacío de los cuales se deriva su nombre comercial, consultar información de fabricante.

#### 2.16.5.4. Arrancador magnético a tensión reducida tipo autotransformador hasta 600 V

Cuando se tiene una caída de tensión en el arranque superior al 20% hay que limitar la corriente de arranque, o cuando el par de arranque es muy severo para el equipo impulsado, se emplea un método de arranque a tensión reducida, pero el más empleado es el de autotransformador. Este tipo de arrancador usa un autotransformador entre el motor y la alimentación que reduce la tensión de arranque. Esta disponibilidad sólo se obtiene con este tipo de arrancador. La tensión reducida se obtiene por la acción del transformador y la corriente de línea que es menor que la corriente del motor.

#### 2.16.5.5. Arrancador magnético a tensión reducida por resistencia primaria hasta 600 V

Una de las formas más comunes de arranque a tensión reducida es empleando resistencias en serie

con el motor durante su aceleración. La corriente tomada por el motor es menor, porque se disipa en las resistencias, mientras que el par es menor debido a la caída de tensión que reduce la tensión en las terminales del motor. Como el motor está acelerado, la corriente a través de las resistencias decrece para reducir la caída de tensión e incrementar la tensión en las terminales del motor. El resultado es una aceleración suave con incrementos graduales del par y de la tensión.

El ciclo de arranque es con transición cerrada, o sea que el motor nunca queda desconectado de la línea, desde el primer momento en que queda conectado hasta que el motor opera a tensión plena. El arrancador por resistencias consume potencia que se disipa por calor pero se obtiene un alto factor de potencia. Existen arrancadores de resistencias de dos puntos de aceleración (simple paso de resistencia) o de 3, 4, 5, y 6 puntos de aceleración. Si la tensión está limitada a valores en los cuales no causen parpadeos perjudiciales al alumbrado y demás servicios, la corriente tomada por los motores en el arranque debe ser limitada a valores determinados de incremento, determinando así el número de puntos de aceleración, las ventajas y limitaciones de los arrancadores a tensión reducida en la Tabla 2.155.

### 2.16.6. CLASE

Los controladores se pueden designar como clase A, B, o V, de acuerdo con su medio de interrupción y su habilidad de interrumpir corrientes.

Estos controladores están diseñados para interrumpir solamente sobrecargas de operación.

En general, los controladores manuales están limitados a 600 V o menos. Un controlador puede

ser una combinación de componentes operados manual o magnéticamente.

#### 2.16.6.1. Clase A

Los controladores clase A son controladores para corriente alterna, manuales o magnéticos de interrupción en aire, en vacío o sumergidos en aceite, para servicio en 600 V o menos. Son capaces de interrumpir sobrecargas de operación, pero no cortocircuitos ni fallas mayores a las sobrecargas de operación.

#### 2.16.6.2. Clase B

Los controladores clase B son controladores para corriente directa, manuales o magnéticos de interrupción en aire, para servicio en 600 V o menos. Son capaces de interrumpir sobrecargas de operación, pero no cortocircuitos ni fallas mayores a las sobrecargas de operación. Para las especificaciones aplicables a estos controladores, véase la sección cinco.

#### 2.16.6.3. Clase V

Los controladores clase V son controladores para corriente alterna, manuales o magnéticos de interrupción en vacío, para servicio en 1 500 V o menos y son capaces de interrumpir sobrecargas de operación, pero no cortocircuitos ni fallas mayores a las sobrecargas de operación.

### 2.16.7. TIPO DE BLOQUEO

#### **Bloqueo mecánico de contactores manuales y magnéticos**

Los contactores que pudieran causar una falla entre líneas si estuvieran en la posición cerrada

al mismo tiempo deben bloquearse mecánicamente para evitar esta condición

#### **Bloqueo eléctrico de contactores magnéticos**

Dos o más contactores magnéticos que pudieran causar una falla entre líneas si estuvieran en la posición cerrada al mismo tiempo deben bloquearse eléctricamente mediante contactos auxiliares normalmente cerrados conectados en serie con sus bobinas.

### 2.16.8. APLICACIÓN

Según el tipo de maquina las aplicaciones se clasifican en estándar o severas en función de las características del arranque dadas:

- Bombas
- Ventiladores
- Compresores
- Transportadores
- Agitadores
- Mezcladoras
- Trituradores
- Prensas
- Grúas

### 2.16.9. TIPO DE ALAMBRADO

Los controladores manuales y magnéticos deben tener terminales adecuadas para la conexión de los cables de cobre externos que se muestran en la Tabla 2.155, cuyo aislamiento sea para 60 °C ó 75 °C nominales.

**NOTA:** El área transversal máxima del cable mostrado es para una temperatura ambiente de 40 °C, con base en la capacidad de conducción de corriente requerida para la corriente de servi-

cio limitada correspondiente al tamaño del controlador. El área transversal mínima del cable mostrado es para un aislamiento de 75 °C a una temperatura ambiente de 30 °C y una corriente a plena carga del motor mínima correspondiente a los kilowatts.

## 2.16.10. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

### 2.16.10.1. Tipo de ambiente de trabajo

Las condiciones ambientales no afectan la operación de los arrancadores, por lo que al realizar las especificaciones se deberá de indicar que los arrancadores deberán de protegerse considerando el tipo de ambiente en el que operan y deberá seleccionarse de la Tabla 2.157.

### 2.16.10.2. Temperatura ambiente

La temperatura ambiente máxima no debe exceder de 40°C y su valor promedio en 24 Horas no exceda de 35°C, indicándose las máximas. La temperatura media mínima debe ser de -5°C para arrancadores servicio interior y -25°C para arrancadores servicio intemperie.

### 2.16.10.3. Altitud de operación

Los valores normalizados para arrancadores están dados para operar en altitudes hasta de 1 000 m.s.n.m.

## 2.16.11. TIPOS DE ENVOLVENTE

Los envoltentes (diferentes de cercas o muros circundantes) de tableros de distribución, table-

ros de alumbrado y control, tableros de control industrial, centros de control de motores, medidores enchufables, interruptores con envolvente, interruptores de transferencia, salidas de energía eléctrica, interruptores automáticos, sistema de accionamiento de velocidad ajustable, interruptores de arranque, equipo de distribución de energía eléctrica portátil, cajas de terminación, transformadores de uso general, controladores de la bomba contra incendios, motores de la bomba contra incendios y controladores de motores, con tensión no mayor que a 600 volts y previstos para tales lugares, deben estar marcados con un número del tipo de envolvente acorde con la Tabla 2.156.

## 2.16.12. CONDICIONES OPERATIVAS

La Ilustración 2.45 muestra un ejemplo de arrancadores trifásicos.

### 2.16.12.1. Elementos térmicos empleados

Los elementos térmicos más empleados son los bimetalicos y los de aleación fusible. Los elementos térmicos bimetalicos se emplean en donde es posible el restablecimiento automatico. Los elementos térmicos de aleación fusible se fabrican en tres diseños que son el de disparo estándar, disparo lento y disparo rápido. Las aplicaciones de estos elementos se tiene dónde se puede realizar un restablecimiento manual, empleando los de:

- Disparo estándar en motores hasta 7 segundos aproximadamente en su arranque a tensión plena

Ilustración 2.45 Arrancadores de motores trifásicos



- Disparo lento en motores de aceleración hasta de 12 segundos a tensión plena, este elemento no es recomendado para largos períodos de arranque
- Disparo rápido, son empleados para proteger bombas herméticamente selladas, sumergibles y otros tipos de motores, los cuales pueden resistir corrientes a rotor bloqueado en tiempo muy corto, o motores que tengan una baja corriente a rotor bloqueado a corriente a plena carga

#### 2.16.12.2. Tipo de cámara de arqueo

Las cámaras de arqueo empleadas en los arrancadores son las de aire y vacío; utilizadas en baja tensión únicamente las de aire y en media tensión ambas. Su finalidad es poder interrumpir corrientes altas reduciendo el tamaño del arrancador y el peligro en su manejo.

#### 2.16.12.3. Tipo de servicio

El tipo de servicio para los arrancadores depende de las condiciones de trabajo y montaje de los equipos principalmente y es "Interior" o "Exterior".

#### 2.16.12.4. Tipo de montaje

El montaje de los arrancadores en baja tensión ya sea en combinación con desconectadores fusibles o interruptores termomagnéticos se realiza en gabinetes individuales o en tableros conocidos como centros de control de motores que además de soportar los arrancadores, contienen los interruptores de los sistemas de alumbrado y otros dispositivos eléctricos.

#### 2.16.12.5. Capacidad

Para la capacidad en (h.p.) de los arrancadores ver Tabla 2.158 y Tabla 2.159.

Tabla 2.155 Tamaño de terminales

| Rango mínimo de la sección transversal del conductor (Un conductor por terminal, a menos que se indique otra condición) |                                         |           |                                         |                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------|-----------------------------------------|-------------------------|
| Tamaño arrancador                                                                                                       | Para conductores con asilamiento a 60°C |           | Para conductores con asilamiento a 75°C |                         |
|                                                                                                                         | mm²                                     | AWG,Kcmil | mm²                                     | AWG,Kcmil               |
| 00                                                                                                                      | 2.08                                    | 14        | 2.08                                    | 14                      |
| 0                                                                                                                       | 2.08 - 5.26                             | 14 - 10   | 2.08 - 5.26                             | 14 - 10                 |
| 1                                                                                                                       | 2.08 - 8.37                             | 14 - 8    | 2.08 - 8.37                             | 14 - 8                  |
| 1P                                                                                                                      | 8.37 - 13.30                            | 8 - 6     | 5.26 - 8.36                             | 10 - 8                  |
| 2                                                                                                                       | 5.26 - 21.15                            | 10 - 4    | 5.26 - 13.30                            | 10 - 6                  |
| 3                                                                                                                       | 8.37 - 53.48                            | 8 - 1/0   | 5.26 - 42.41                            | 10 - 1                  |
| 4                                                                                                                       |                                         |           | 21.15 - 85.01                           | 4 - 3/0                 |
| 5                                                                                                                       |                                         |           | 67.43 - 253.40                          | 2/0 - 500               |
| 6                                                                                                                       |                                         |           | Dos 67.43 - Dos 253.40                  | Dos 2/0 - Dos 500       |
| 7                                                                                                                       |                                         |           | Tres 67.43 - Tres 253.40                | Tres 2/0 - Tres 500     |
| 8                                                                                                                       |                                         |           | Cuatro 67.43 - Cuatro 253.40            | Cuatro 2/0 - Cuatro 500 |
| 9                                                                                                                       |                                         |           |                                         |                         |

Fuente: NMX-J-290-ANCE.

Tabla 2.156 Arrancadores para motores jaula de ardilla

| Método de arranque                 | Características de arranque en % de valores a plena carga |                    |                     |                 | Limitaciones                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ventajas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | Tensión al motor                                          | Corriente de línea | Corriente del motor | Par de arranque |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Directo a la línea (tensión plena) | 100                                                       | 600                | 600                 | 150             | <p>Toma de alta corriente de línea durante el arranque lo cual afecta:</p> <p>Carga: El alto par de arranque resultado de un arranque repentino al accionar la máquina puede causar esfuerzos no deseados</p> <p>Capacidad en el sistema de suministro: Las limitaciones del sistema pueden prohibir la alta corriente de arranque cuando se arranca un motor grande a tensión plena</p> <p>Localización del motor: La caída de tensión debido a la corriente de arranque cuando el motor está localizado a una distancia considerable de la fuente de potencia, puede causar que otros arrancadores salgan de la línea</p> | <p>Simplicidad.</p> <p>El menos costoso y debe ser usado cuando las limitaciones no sean aplicables</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Reactor primario                   | 50                                                        | 300                | 300                 | 25              | <p>Utiliza dos contactos y un reactor</p> <p>De ahí que cuesta más y requiere de mayor espacio que un arrancador a tensión plena</p> <p>Bajo factor de potencia durante el arranque</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>Es el arrancador a tensión reducida más económico para aplicaciones a 2 400 V y mayores</p> <p>Esencialmente de transacción cerrada (el motor no se es desconectado de la línea durante la transición del arranque a tensión reducida a la marcha a tensión plena) Esto reduce los inconvenientes de transición por interruptores</p> <p>Las derivaciones de tensión permiten ajustes de la tensión de arranque</p> <p>Adecuado para largos periodos de arranque</p> |
|                                    | 65                                                        | 390                | 390                 | 62              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                    | 80                                                        | 480                | 480                 | 64              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                                    |                                                           |                    |                     |                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Autotransformador                  | Derivaciones<br>50<br>65<br>80                            | 300<br>390<br>480  | 300<br>390<br>480   | 25<br>62<br>64  | <p>Utiliza tres contactos y un autotransformador. De ahí que cuesta más. Y requiera mayor espacio que el tipo de reactor primario(Necesita dos secciones verticales estándar)</p> <p>Bajo factor de potencia durante el arranque</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>Provee el más alto par por ampere de corriente de línea.</p> <p>Lo mismo que el arrancador.</p> <p>Con reactor primario la corriente en el motor es mayor que la corriente de la línea durante el arranque, lo que produce el mismo par de arranque que en el arrancador con reactor primario pero con la corriente de línea reducida</p>                                                                                                                            |

Tabla 2.157 Tipos de envoltente

| Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales         | Para uso exterior             |    |    |    |     |     |    |    |     |    |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|----|--|--|
|                                                                                          | Número del tipo de envoltente |    |    |    |     |     |    |    |     |    |  |  |
|                                                                                          | 3                             | 3R | 3S | 3X | 3RX | 3SX | 4  | 4X | 6   | 6P |  |  |
| Contacto accidental con el envoltente del equipo                                         | X                             | X  | X  | X  | X   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Lluvia, nieve y granizo                                                                  | X                             | X  | X  | X  | X   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Granizo                                                                                  | —                             | —  | X  | —  | —   | X   | —  | —  | —   | —  |  |  |
| Polvo en el aire                                                                         | X                             | —  | X  | X  | —   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Lavado con manguera                                                                      | —                             | —  | —  | —  | —   | —   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Agentes corrosivos                                                                       | —                             | —  | —  | X  | X   | X   | —  | X  | —   | —  |  |  |
| Sumersión temporal                                                                       | —                             | —  | —  | —  | —   | —   | —  | —  | —   | X  |  |  |
| Sumersión prolongada                                                                     | —                             | —  | —  | —  | —   | —   | —  | —  | —   | —  |  |  |
| Proporciona un grado de protección contra las siguientes condiciones ambientales         | Para uso interior             |    |    |    |     |     |    |    |     |    |  |  |
|                                                                                          | Número del tipo de envoltente |    |    |    |     |     |    |    |     |    |  |  |
|                                                                                          | 1                             | 2  | 4  | 4X | 5   | 6   | 6P | 12 | 12K | 13 |  |  |
| Contacto accidental con el envoltente del equipo                                         | X                             | X  | X  | X  | X   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Polvo que cae                                                                            | X                             | X  | X  | X  | X   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Líquidos que caen y salpicaduras leves                                                   | —                             | X  | X  | X  | X   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas circulantes                               | —                             | —  | X  | X  | —   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Asentamiento de polvo, pelusa, fibras y partículas suspendidas transportados por el aire | —                             | —  | X  | X  | X   | X   | X  | X  | X   | X  |  |  |
| Agua por lavado con manguera y salpicadura                                               | —                             | —  | X  | X  | —   | X   | X  | —  | —   | —  |  |  |
| Escape de aceite y refrigerante                                                          | —                             | —  | —  | —  | —   | —   | —  | X  | X   | X  |  |  |
| Salpicadura y rociado de aceite o refrigerante                                           | —                             | —  | —  | —  | —   | —   | —  | —  | —   | —  |  |  |
| Agentes corrosivos                                                                       | —                             | —  | —  | X  | —   | —   | X  | —  | —   | —  |  |  |
| Sumersión temporal                                                                       | —                             | —  | —  | —  | —   | X   | X  | —  | —   | —  |  |  |
| Sumersión prolongada                                                                     | —                             | —  | —  | —  | —   | —   | X  | —  | —   | —  |  |  |

Fuente: NOM-001-SEDE.



Tabla 2.158 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores monofásicos

| kW    | h.p.. | Corriente a plena carga | Tamaño NEMA de arrancador | Corriente a plena carga | Tamaño NEMA de arrancador |
|-------|-------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
|       |       | A 127 V                 |                           | A 220 V                 |                           |
| 0.124 | 1/6   | 4.0                     | 1                         | 2.3                     | 1                         |
| 0.186 | 1/4   | 5.3                     | 1                         | 3.0                     | 1                         |
| 0.248 | 1/3   | 6.5                     | 1                         | 3.8                     | 1                         |
| 0.373 | 1/2   | 8.9                     | 1                         | 5.1                     | 1                         |
| 0.559 | 3/4   | 11.5                    | 1                         | 7.2                     | 1                         |
| 0.746 | 1     | 14.0                    | 1                         | 8.4                     | 1                         |
| 1.119 | 1 ½   | 18.0                    | 1                         | 10                      | 1                         |
| 1.492 | 2     | 22.0                    | 1                         | 13.0                    | 1                         |
| 2.238 | 3     | 31.0                    | 2                         | 18.0                    | 1                         |
| 3.730 | 5     | 51.0                    | 2                         | 29.0                    | 1                         |
| 5.595 | 7 ½   | 72.0                    | 3                         | 42.0                    | 2                         |
| 7.460 | 10    | 91.0                    | 3                         | 52.0                    | 2                         |

Fuente: NEMA ICS-2

Tabla 2.159 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores trifásicos

| kW      | h.p.. | Corriente a plena carga | Tamaño NEMA de arrancador | Corriente a plena carga | Tamaño NEMA de arrancador |
|---------|-------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
|         |       | A 220 V                 |                           | A 460 V                 |                           |
| 0.373   | 1/2   | 2.1                     | 1                         | 1.0                     | 1                         |
| 0.560   | 3/4   | 2.9                     | 1                         | 1.5                     | 1                         |
| 0.746   | 1     | 3.8                     | 1                         | 1.9                     | 1                         |
| 1.119   | 1 ½   | 5.4                     | 1                         | 2.7                     | 1                         |
| 1.490   | 2     | 7.1                     | 1                         | 3.6                     | 1                         |
| 2.230   | 3     | 10.0                    | 1                         | 5.0                     | 1                         |
| 3.730   | 5     | 15.9                    | 1                         | 7.9                     | 1                         |
| 5.600   | 7 ½   | 23.0                    | 1                         | 11.0                    | 1                         |
| 7.46    | 10    | 29.0                    | 2                         | 15.0                    | 1                         |
| 11.19   | 15    | 44.0                    | 2                         | 22.0                    | 2                         |
| 14.92   | 20    | 56.0                    | 3                         | 28.0                    | 2                         |
| 18.65   | 25    | 71.0                    | 3                         | 36.0                    | 2                         |
| 22.38   | 30    | 84.0                    | 4                         | 42.0                    | 3                         |
| 29.840  | 40    | 109.0                   | 4                         | 54.0                    | 3                         |
| 37.300  | 50    | 136.0                   | 4                         | 68.0                    | 3                         |
| 44.760  | 60    | 161.0                   | 4                         | 80.0                    | 4                         |
| 55.950  | 75    | 201.0                   | 5                         | 100.0                   | 4                         |
| 74.600  | 100   | 259.0                   | 5                         | 130.0                   | 4                         |
| 93.250  | 125   | 326.0                   | 5                         | 163.0                   | 4                         |
| 119.900 | 150   | 376.0                   | 6                         | 183.0                   | 5                         |
| 149.2   | 200   | 502.0                   | 6                         | 251.0                   | 5                         |

Fuente: NEMA ICS-2

## 2.17. LÁMPARAS DE ALTA EFICIENCIA<sup>16</sup>

Existen en el mercado lámparas de alta eficiencia, entre las cuales destacan las de tipo diodo emisor de luz (LED, por sus siglas en inglés) y lámparas fluorescentes compactas autobalastadas.

### 2.17.1. LÁMPARAS FLUORESCENTES

Este tipo de lámpara se presenta en diferentes tamaños de bulbo, T5, T8, etcétera. Es importante tomar en cuenta la eficacia luminosa con objeto de reducir el consumo de energía en el sistema de alumbrado, ver Ilustración 2.46

Igualmente se recomienda tomar en cuenta la designación color, en función de la temperatura ambiente y el uso destinado de la instalación a iluminar.

#### 2.17.1.1. Clasificación

Para efecto del tema las LFCA (Las lámparas fluorescentes compactas autobalastadas) se clasifican como sigue:

- a) Por potencia eléctrica, ver Tabla 2.160
- b) Tipo de envoltente
  - Sin envoltente
  - Con envoltente
  - Con reflector

#### 2.17.1.2. Eficacia luminosa

La eficacia mínima se muestra en la Tabla 2.160.

Los balastos para LFCA, a excepción de los del tipo reactor serie, deben contar con un termoprotector de tal manera que abra el circuito de

alimentación cuando la temperatura del balastro exceda los límites que se indican en la Tabla 2.161. En lo que se refiere al termoprotector, debe observarse lo siguiente:

### 2.17.2. LÁMPARAS DE DIODO EMISOR DE LUZ (LED)

#### 2.17.2.1. Clasificación

Las lámparas de diodo emisor de luz (LED) integradas se clasifican de la siguiente manera, ver Ilustración 2.47

1. Por su flujo luminoso total
2. Por su distribución espacial de luz
  - Omnidireccional
  - Direccional

#### 2.17.2.2. Variación del flujo luminoso total nominal

El flujo luminoso total inicial medido de todas las lámparas de LED integradas omnidireccionales no debe de ser menor al 90% del valor nominal marcado en el producto.

El flujo luminoso total inicial medido de todas las lámparas de LED integradas direccionales, no debe de ser menor al 90% del valor nominal marcado en el producto.

#### 2.17.2.3. Índice de rendimiento de color (IRC)

Todas las lámparas de LED integradas omnidireccionales deberán tener un IRC mínimo de 77, las lámparas de LED integradas direccionales con temperatura de color correlacionada menor o igual que 6 000 K deben tener un IRC mínimo de 77 y las lámparas de LED integradas direccionales con

<sup>16</sup> Fuente: NOM-030-ENER, NOM-017-ENER

Ilustración 2.46 Lámparas fluorescentes



temperatura de color correlacionada mayor que 6 000 K deben tener un IRC mínimo de 75.

#### 2.17.2.4. Factor de potencia (FP)

**Para todas las lámparas de LED integradas omnidireccionales con potencias eléctricas inferiores o iguales a 5 W:** No es necesario especificar el FP.

En caso de que en el producto o en el empaque se establezca el FP, éste debe ser igual o mayor que lo marcado en el mismo,

**Para todas las lámparas de LED omnidireccionales con potencias eléctricas superiores a 5 W:** El FP deberá ser mayor o igual a 0.7 y para todas las lámparas de LED integradas direccionales con potencias eléctricas inferiores o iguales que 5 W, no es necesario especificar el FP.

En caso de que en el producto o en el empaque se establezca el FP, éste debe ser igual o mayor que lo marcado en el mismo.

**Para todas las lámparas de LED integradas direccionales con potencias eléctricas mayores**

Ilustración 2.47 Lámparas de LED



**que 5 W y menor o igual a 25 W:** El FP debe ser mayor o igual que 0.5, todas las lámparas de LED integradas direccionales con potencias eléctricas mayores que 25 W el FP deberá ser mayor o igual que 0.7.

#### 2.17.3. LUMINARIAS

La luminaria se deberá seleccionar, respetando las especificaciones del diseño y además dependerá de las siguientes condiciones, ver Ilustración 2.48:

##### 2.17.3.1. Grados de protección eléctrica

Las luminarias deben asegurar la protección de las personas contra los contactos eléctricos. Según el grado de aislamiento eléctrico, las luminarias pueden clasificarse como:

**Clase 0:** Luminaria con aislamiento funcional, pero sin aislamiento doble ni reforzado en su totalidad y sin conexión a tierra.

**Clase I:** Luminaria con al menos aislamiento funcional en su totalidad y con el terminal o contacto de conexión a tierra.



**Clase II:** Luminaria con aislamiento doble y/o aislamiento reforzado en su totalidad y sin provisión para descarga a tierra.

**Clase III:** Luminaria diseñada para ser conectada a circuitos de voltaje extra-bajo, y que no tiene circuitos, ni internos ni externos, que operen a un voltaje que no sea el extra-bajo de seguridad.

#### 2.17.3.2. Condiciones operativas

El sistema IP (International Protection – Protección Internacional) fijado por la UNE-EN 60598 clasifica las luminarias de acuerdo con el grado de protección que poseen contra el ingreso de cuerpos extraños, polvo y humedad. El término cuerpos extraños incluye aquellos elementos herramientas y dedos que entran en contacto con las partes que llevan energía.

La designación para indicar los grados de protección consiste en las letras características de IP seguidas por dos números (tres números en Francia) que indican el cumplimiento de las condiciones establecidas en la Tabla 2.162, Tabla 2.163 y Tabla 2.164. El primero de estos números es una indicación de la protección contra el ingreso de cuerpos extraños y polvo, el segundo número indica el grado de sellado para evitar el ingreso de agua, mientras que el tercer número en el sistema francés indica el grado de resistencia a los impactos. Tercera cifra del código, ésta cifra hace referencia a ensayos mecánicos a choque.

#### 2.17.3.3. Grado de inflamabilidad de la superficie de montaje

Las luminarias no pueden ser montadas sobre cualquier superficie conveniente. La inflamabilidad de esa superficie y la temperatura del cuerpo de la luminaria imponen ciertas restricciones al respecto. Naturalmente, si la superficie es no-combustible, no existe ningún problema.

A los fines de la clasificación, la EN-60598 define a las superficies inflamables como normalmente inflamables o fácilmente inflamables.

La clasificación normalmente inflamable hace referencia a aquellos materiales cuya temperatura de ignición es de al menos 200 °C y que no se debilitan ni deforman a esa temperatura.

La clasificación fácilmente inflamable hace referencia a aquellos materiales que no pueden ser clasificados como normalmente inflamables o no-combustibles. Los materiales de esta categoría no pueden ser utilizados como superficie de montaje para luminarias. El montaje suspendido es la única alternativa en estos casos.

A continuación se enuncian el montaje de las luminarias:

- a) Luminarias adecuadas para montaje directo sólo sobre superficies no combustibles.
- b) Luminarias adecuadas para montaje directo sobre superficies normalmente inflamables

#### 2.17.3.4. Clasificación condición de servicio

##### **Luminarias para instalaciones de iluminación interior**

Entendemos que dentro de este grupo están las luminarias destinadas a la iluminación de locales y naves dedicadas a centros comerciales, industrias, oficinas, edificios docentes, instalaciones deportivas cubiertas, etc. Por lo tanto,

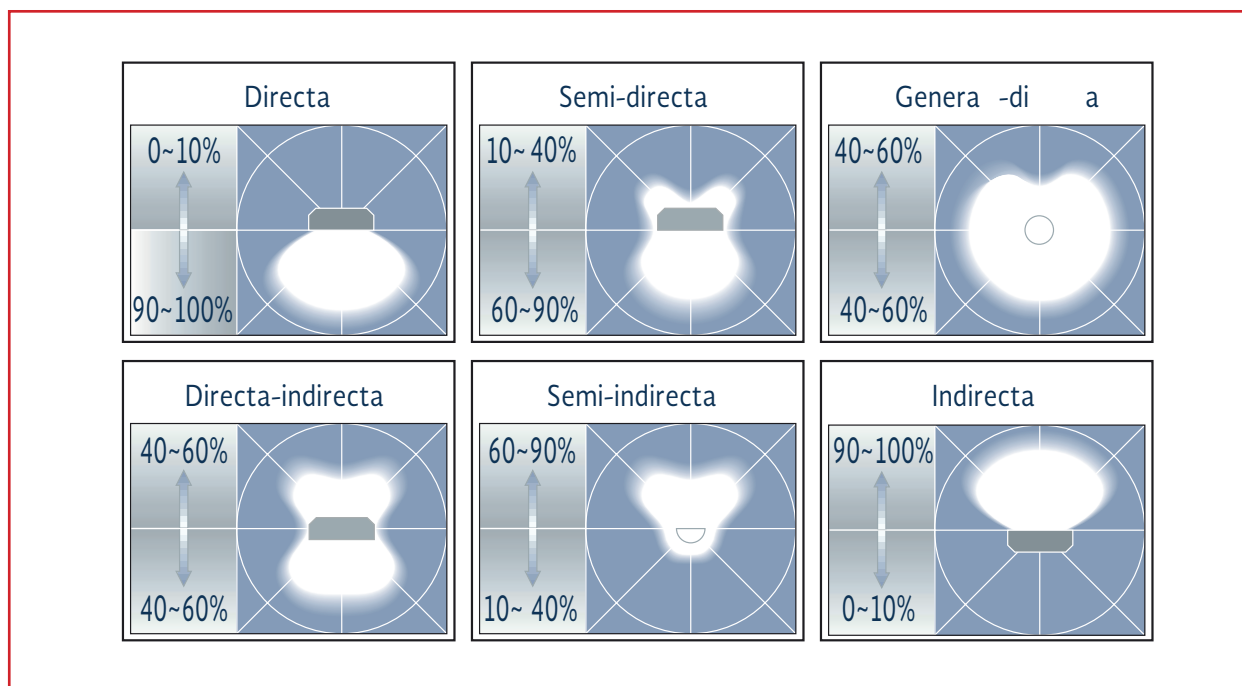
este tipo de alumbrado trata de dotar de la iluminación adecuada a aquellos lugares donde se desarrolla una actividad laboral o docente.

Las luminarias para la iluminación general de interiores se encuentran clasificadas por la C.I.E. de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo del plano horizontal, ver Ilustración 2.49.

A su vez, con respecto a la simetría del flujo emitido, se puede hacer una clasificación en dos grupos:

1. Luminarias de distribución simétrica:  
Aquellas en las que el flujo luminoso se reparte de forma simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades luminosas se puede representar en una sola curva fotométrica.

Ilustración 2.49 Clasificación de luminarias según la radiación del flujo luminoso



2. Luminarias de distribución asimétrica: Son aquellas en las que el flujo luminoso se distribuye de forma no simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades luminosas se expresa mediante un sólido fotométrico o, parcialmente, con una curva plana de dicho sólido según diversos planos característicos

### ***Luminarias para instalaciones de iluminación pública***

Dentro de este tipo grupo tenemos luminarias de parques y jardines así como las de iluminación pública viaria. Para las primeras, son instalaciones típicas, como su nombre indica, parques, jardines, zonas residenciales, etc. En el segundo tipo tenemos vías urbanas, autopistas, túneles, etc.

La C.I.E. ha introducido un nuevo sistema para la clasificación de las luminarias para iluminación de viales y así sustituir al sistema que introdujo en el año 1965, en el que se hacía la clasificación cut-off, semi-cut-off y non-cut-off. No obstante, el antiguo sistema sigue siendo utilizado en ciertas recomendaciones nacionales para la iluminación de viales. Ver Ilustración 2.50.

La nueva clasificación de luminarias de la C.I.E. que reemplaza a la anterior se basa en tres propiedades básicas de las luminarias:

1. La extensión a la cual la luz de la luminaria se distribuye a lo largo de un camino: El “alcance” de la luminaria.
2. La cantidad de diseminación lateral de la luz, a lo ancho de un camino: La “apertura”.

3. El alcance de la instalación para controlar el deslumbramiento producido por la luminaria: El “control” de la luminaria

El alcance está definido por el ángulo  $\gamma_{\max}$  que forma el eje del haz con la vertical que va hacia abajo. El eje del haz está definido por la dirección de la bisectriz del ángulo formado por las dos direcciones de  $90\% I_{\max}$  en el plano vertical de intensidad máxima, ver Ilustración 2.51.

### ***Luminarias para instalaciones de iluminación por proyección***

Dentro de este tipo podemos encuadrar las destinadas a instalaciones deportivas cubiertas y al aire libre, fachadas, áreas de trabajo, áreas de vigilancia, etc.

Un proyector es una luminaria que concentra la luz en un ángulo sólido determinado por un sistema óptico (espejos o lentes), para conseguir una intensidad luminosa elevada.

Las lámparas utilizadas para la iluminación con proyectores van desde lámparas con reflectores de vidrio prensado y lámparas halógenas hasta lámparas de mercurio de alta presión, lámparas de halogenuros metálicos y lámparas de sodio de alta y baja presión. Todas vienen en varios voltajes y cada una proporciona un tipo y cantidad especial de luz, efectos de color y eficiencia.

El montaje, cambio de lámparas y limpieza generalmente deben ser realizados a una altura considerable sobre el nivel del suelo, por lo tanto es necesario un diseño ergonómico de la luminaria para que estas operaciones resulten lo más fáciles posibles.

Ilustración 2.50 Ejemplos de curvas fotométricas con su clasificación

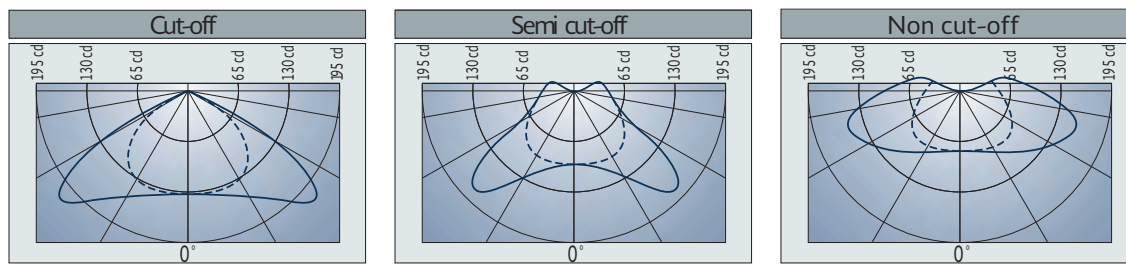
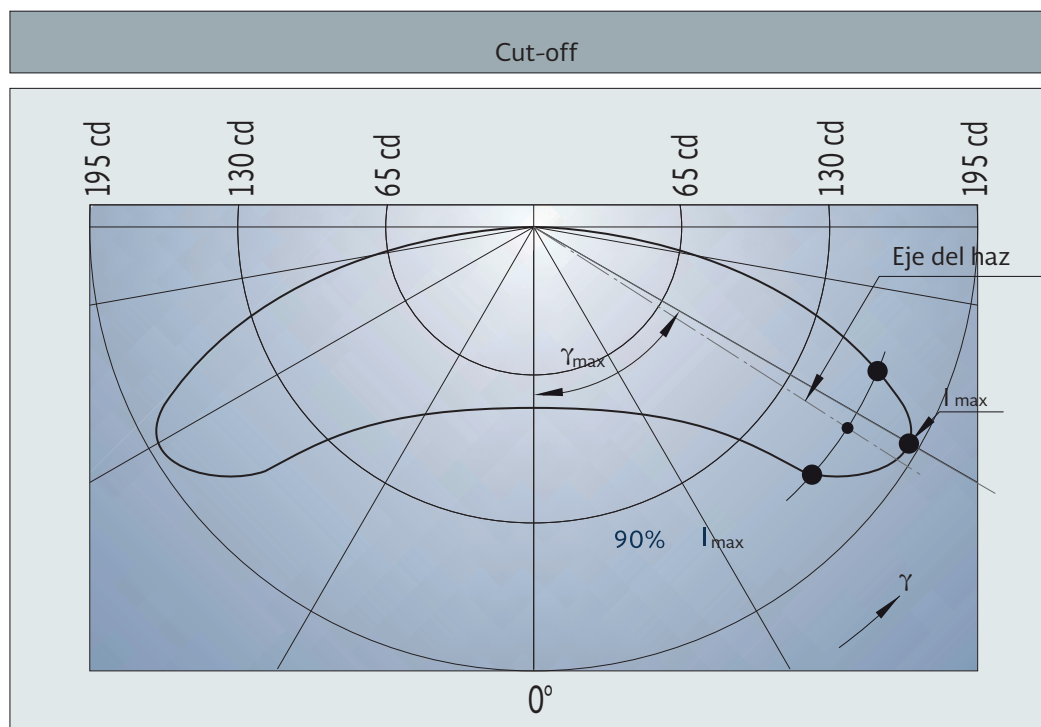


Ilustración 2.51 Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa máxima, que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance



Desde el punto de vista de la distribución de luz, los proyectores se agrupan en tres grupos básicos: con simetría, de rotación simétricas y asimétricas.

#### 2.17.3.5. Radiación de flujo luminoso

Hemos visto que en las hojas de información de luminarias aparecen una serie de diagramas que

nos indican las peculiaridades fotométricas de la misma. En este apartado vamos a ver dos términos asociados a la obtención de dichas curvas.

#### *Centro fotométrico*

La mayoría de los cálculos que se realizan se hacen bajo la suposición de que las luminarias son fuentes de luz puntuales, por eso hay que buscar



un punto del espacio limitado por la luminaria que nos sitúe la fuente luminosa puntual imaginaria equivalente.

Para ángulos próximos al nadir, prácticamente no existen diferencias entre datos fotométricos de una misma luminaria dados por distintos laboratorios de medida. Donde sí pueden existir diferencias es para ángulos grandes, por ejemplo  $80^\circ$  y  $88^\circ$ , si no se establece de un modo inequívoco dónde está situado el centro fotométrico de la luminaria.

El centro fotométrico es un punto de una luminaria o de una lámpara a partir del cual se cumple mejor la ley de la inversa del cuadrado de la distancia en la dirección de la intensidad máxima. O lo que es lo mismo, es el punto donde se sitúa, con el único fin de simplificar los cálculos fotométricos, la fuente luminosa puntual imaginaria, que tiene la misma distribución espacial de intensidades luminosas que la luminaria.

La C.I.E. (International Commission Illumination) ha establecido en sus publicaciones las reglas para localizar dicho centro fotométrico para diferentes tipos de luminarias.

## Sistemas de coordenadas fotométricas

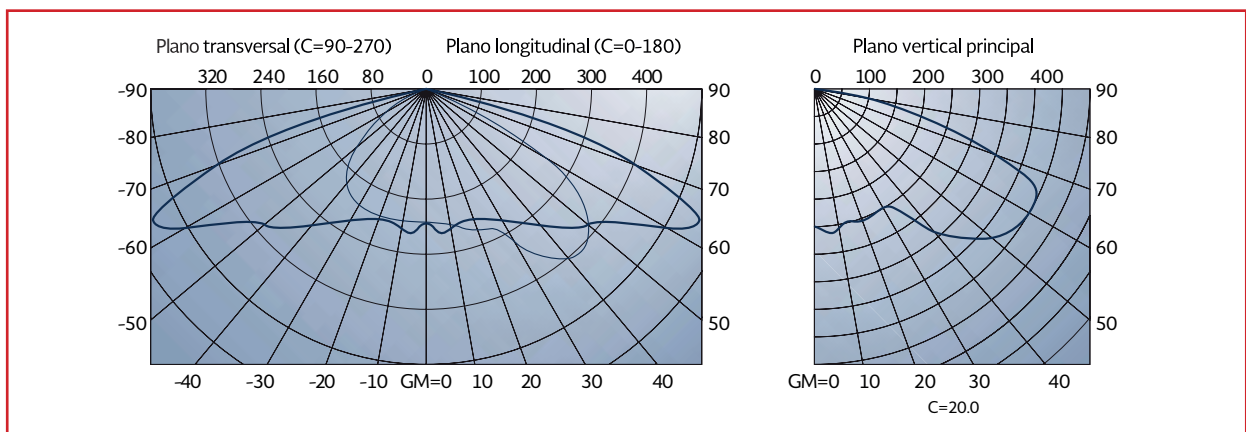
Cada una de las direcciones del espacio por la cual se radia una intensidad luminosa, queda determinada por dos coordenadas.

En las hojas de información fotométrica para luminarias de interior, alumbrado público y proyectores, se utilizan principalmente las representaciones obtenidas mediante tres sistemas de coordenadas, que son los más usados normalmente. Dichos sistemas son los A- $\alpha$ , B- $\beta$  y C- $\chi$ , ver ejemplos en la Ilustración 2.52 e Ilustración 2.53

El sistema de coordenadas C- $\chi$  está definido en las publicaciones de la C.I.E. Sin embargo, no hay un acuerdo internacional sobre la definición de los sistemas A- $\alpha$  y B- $\beta$  y los ensayos, para la obtención de estos dos últimos, son distintos en función del país que los haga.

Cuando se aplica a la fotometría de estos tipos de luminarias el eje de referencia es siempre vertical y dirigido hacia el punto más bajo (nadir).

Ilustración 2.52 Diagrama isocandela para el sistema C- $\gamma$





Todos los sistemas constan de un haz de planos con un eje de intersección, a veces llamado “eje de rotación”.

En cada caso una dirección en el espacio está caracterizada por un ángulo medido entre dos planos y un ángulo medido en uno de los planos.

Los sistemas difieren entre sí con respecto a la orientación del eje de intersección en el espacio en relación con el eje de la luminaria.

Para ensayar proyectores, se usan sistemas adaptados al eje horizontal, pero su denominación varía en los diferentes países.

Ilustración 2.53 Diagrama polar en el sistema B- $\beta$

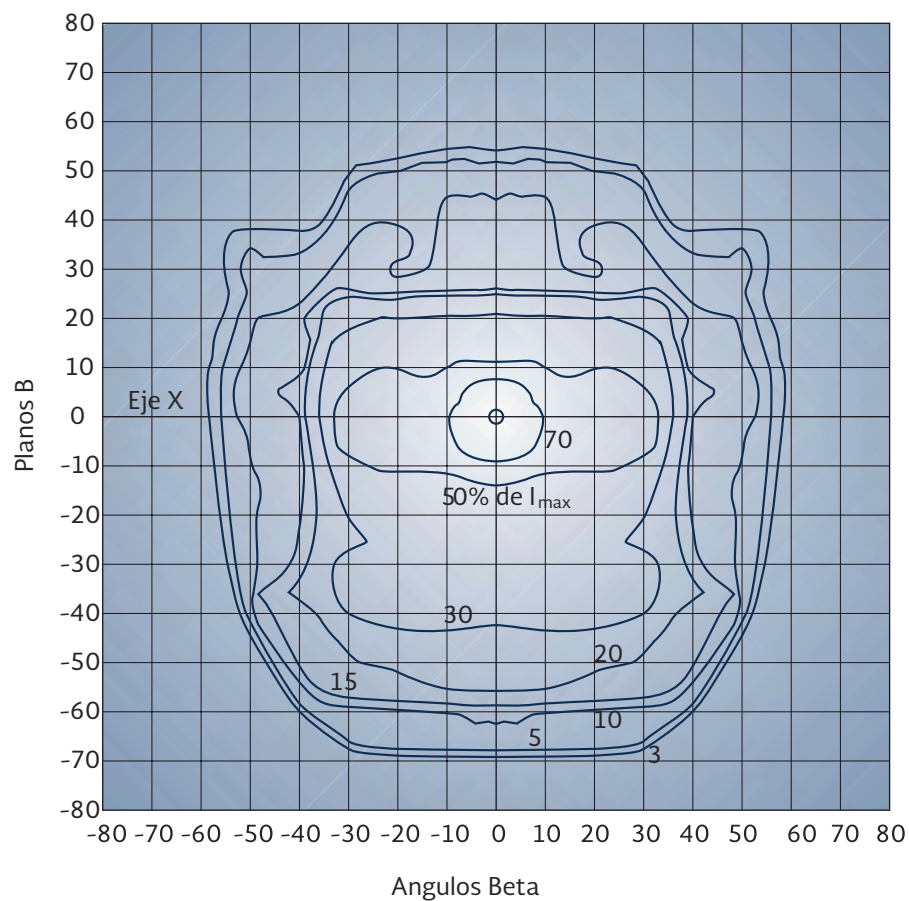


Tabla 2.160 Clasificación por tipo de las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas (LFCA)

| LFCA sin envoltente                     |                                    |
|-----------------------------------------|------------------------------------|
| Intervalos de potencia eléctrica        | Eficacia luminosa<br>mínima (lm/W) |
| Menor o igual que 7 W                   | 45                                 |
| Mayor que 7 W y menor o igual que 10 W  | 48                                 |
| Mayor que 10 W y menor o igual que 14 W | 50                                 |
| Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W | 52                                 |
| Mayor que 18 W y menor o igual que 22 W | 57                                 |
| Mayor que 22 W                          | 60                                 |
| LFCA con envoltente                     |                                    |
| Menor o igual que 7 W                   | 35                                 |
| Mayor que 7 W y menor o igual que 10 W  | 38                                 |
| Mayor que 10 W y menor o igual que 14 W | 40                                 |
| Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W | 46                                 |
| Mayor que 18 W y menor o igual que 22 W | 48                                 |
| Mayor que 22 W                          | 52                                 |
| LFCA con reflector                      |                                    |
| Menor o igual que 7 W                   | 33                                 |
| Mayor que 7 W y menor o igual que 14 W  | 33                                 |
| Mayor que 14 W y menor o igual que 18 W | 33                                 |
| Mayor que 18 W                          | 40                                 |

Fuente: NOM-017-ENER/SCFI

Tabla 2.161 Relación de temperatura de la envoltente del balastro versus tiempo

| Temperatura Máxima |            |                     |
|--------------------|------------|---------------------|
| Mayor que (°C)     | Hasta (°C) | Tiempo máximo (min) |
| 145                | 150        | 5.3                 |
| 140                | 145        | 7.1                 |
| 135                | 140        | 10                  |
| 130                | 135        | 14                  |
| 125                | 130        | 20                  |
| 120                | 125        | 31                  |
| 115                | 120        | 53                  |
| 110                | 115        | 120                 |

Fuente: NOM-017-ENER/SCFI

Tabla 2.162 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo (1ª cifra)

| Primer número característico | Breve descripción                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 0                            | No protegida                                        |
| 1                            | Protegida contra objetos sólidos mayores de 50 mm   |
| 2                            | Protegida contra objetos sólidos mayores de 12'5 mm |
| 3                            | Protegida contra objetos sólidos mayores de 2'5 mm  |
| 4                            | Protegida contra objetos sólidos mayores de 1 mm    |
| 5                            | Protegida contra polvo                              |
| 6                            | Hermética al polvo                                  |

Tabla 2.163 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra el agua (2ª cifra)

| Segundo número característico | Breve descripción                                                                              |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                             | No protegida.                                                                                  |
| 1                             | Protegida contra gotas de agua en caída vertical.                                              |
| 2                             | Protegida contra caída de aguas verticales con una inclinación máxima de 15° de la envolvente. |
| 3                             | Protegida contra el agua en forma de lluvia fina formando 60° con la vertical como máximo.     |
| 4                             | Protegida contra proyecciones de agua en todas las direcciones                                 |
| 5                             | Protegida contra chorros de agua en todas las direcciones.                                     |
| 6                             | Protegida contra fuertes chorros de agua en todas las direcciones                              |
| 7                             | Protegida contra efectos de inmersión temporal en agua.                                        |
| 8                             | Protegida contra la inmersión continua en agua.                                                |

Tabla 2.164 Clasificación EN-60598 contra impactos mecánicos

| Tercer número característico | Breve descripción                                   |
|------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 0                            | Ninguna protección                                  |
| 1                            | Protección contra un impacto de 0'225 J. de energía |
| 3                            | Protección contra un impacto de 0'5 J. de energía   |
| 5                            | Protección contra un impacto de 2 J. de energía     |
| 7                            | Protección contra un impacto de 6 J. de energía     |
| 9                            | Protección contra un impacto de 20 J. de energía    |

# 3

## EQUIPO MECÁNICO

### 3.1. BOMBA VERTICAL ROTODINÁMICA<sup>17</sup>

#### 3.1.1. DEFINICIÓN DE BOMBA VERTICAL ROTODINÁMICA

Las bombas rotodinámicas verticales son máquinas cinemáticas en las cuales la energía es impartida de manera continua hacia el fluido bombeado por medio de un impulsor, propela o rotor teniendo un eje vertical de rotación.

Los tipos más comunes de bombas rotodinámicas son la radial (centrífuga), de flujo con bombeo axial (propela) y mixto.

Los tipos de bombas verticales se presentan en la Ilustración 3.1.

#### 3.1.2. FLUJO RADIAL

Las bombas con este tipo de impulsores tienen valores de velocidad específica en el extremo final de la escala. (Ver la Ilustración 3.2 perfiles de impulsores 1 y 2, para la aproximación de rangos específicos de velocidad) El flujo entra por el ojo del impulsor de manera axial y este es rotado por las paletas y contenido hacia la salida perpendicular al eje de la flecha de la bomba.

#### 3.1.3. FLUJO AXIAL

Un impulsor de flujo axial tiene una entrada única de flujo y salida de manera axial (o cercanamente axial). Los impulsores de este tipo algunas veces son llamados propelas y no tienen cubiertas. Los impulsores de flujo axial son utilizados típicamente para cargas pequeñas y aplicaciones de una sola etapa. (Vea la Ilustración 3.2 perfiles de impulsores, para la aproximación de rangos específicos de velocidad).

#### 3.1.4. FLUJO MIXTO

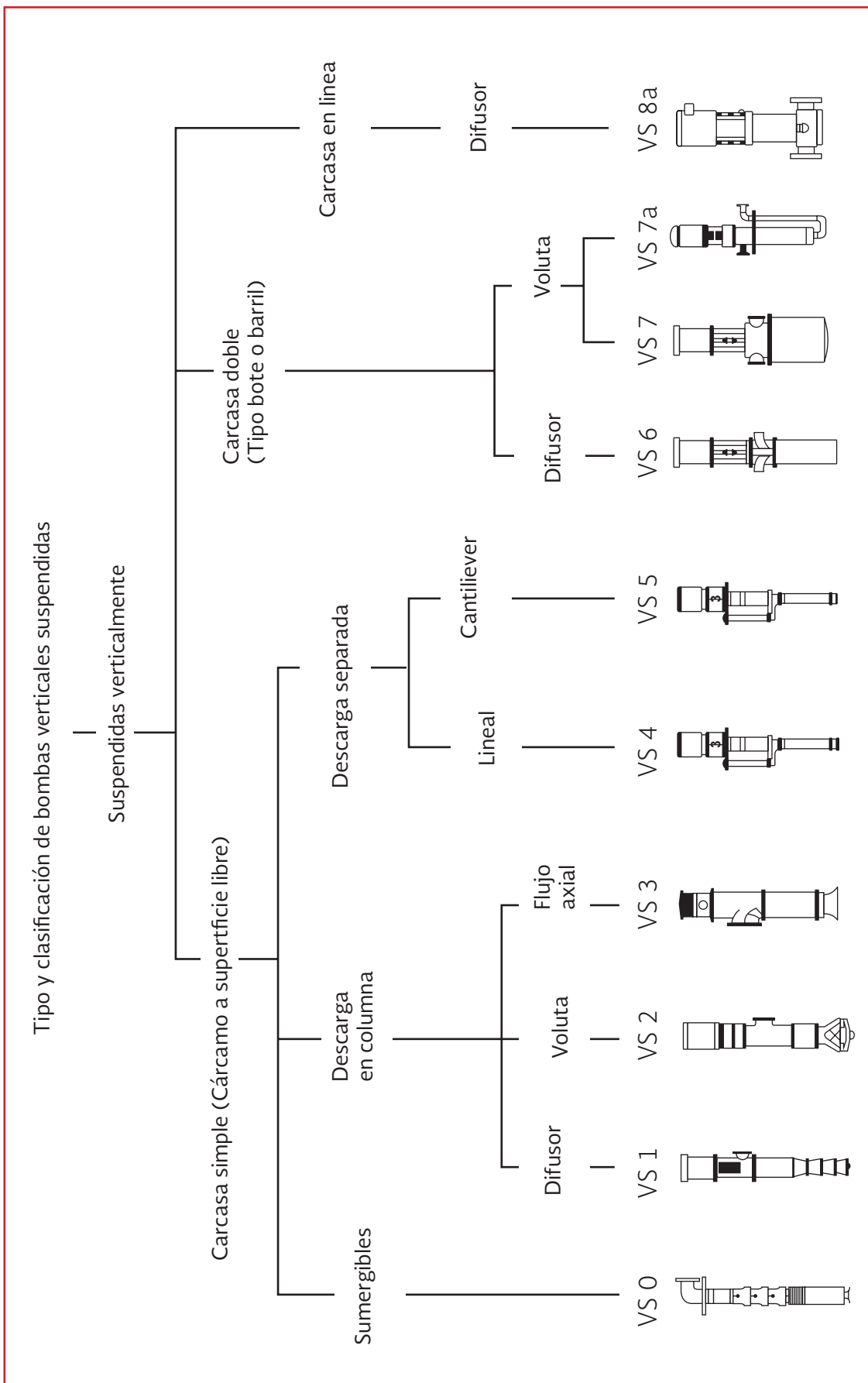
Las bombas de flujo mixto tienen una entrada única con el flujo de entrada de forma axial y una descarga con aproximadamente 45° con respecto a la flecha de la bomba, hacia la periferia. En varios casos, este tipo de impulsor no tiene la cubierta frontal. (Para la configuración de un impulsor de flujo mixto, vea el perfil 5 en la Ilustración 3.2 con los rangos de velocidad específicos correspondientes).

#### 3.1.5. CLASIFICACIÓN POR CONFIGURACIÓN

A continuación se enlistan las configuraciones generales que describen las bombas verticalmente suspendidas.

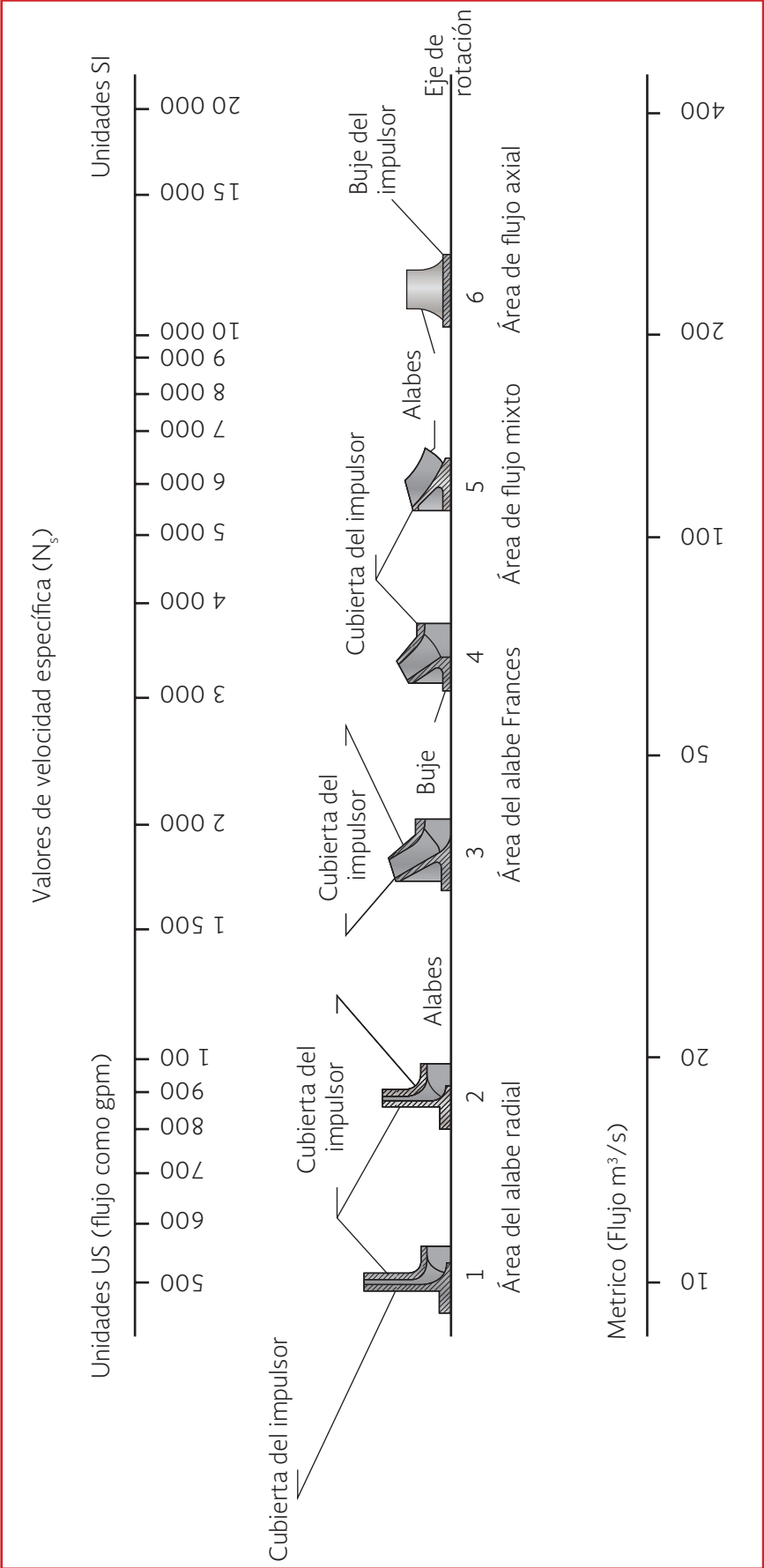
17 Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2

Ilustración 3.1 Tipos de bombas verticales – Rotor suspendido – simple y multietápas



Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2

Ilustración 3.2 Configuración general de los impulsores de bombas verticales y su velocidad específica



Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2

#### 3.1.5.1. Por tipo de descarga

##### ***Descarga, arriba y por debajo del nivel de descarga del terreno***

Los tazones de bombas verticales descargan el líquido bombeado dentro de una columna, que la lleva a la descarga.

Existen dos tipos básicos de configuraciones de bombas de descarga. Bombas con descarga sobre el terreno (Ver la Ilustración 3.22) y bombas con descarga por debajo del terreno (Ver la Ilustración 3.24). El controlador se monta sobre el terreno en ambos casos.

#### 3.1.5.2. Por transmisión de energía

##### ***Flecha Sólida***

Los motores de flecha sólida (Ver Ilustración 3.21, Ilustración 3.22, Ilustración 3.23, Ilustración 3.25, Ilustración 3.26, Ilustración 3.27 e Ilustración 3.28) se encuentran acoplados a la línea de la flecha por un cople rígido axialmente ajustable. El cople se instala debajo del motor en la flecha extendida.

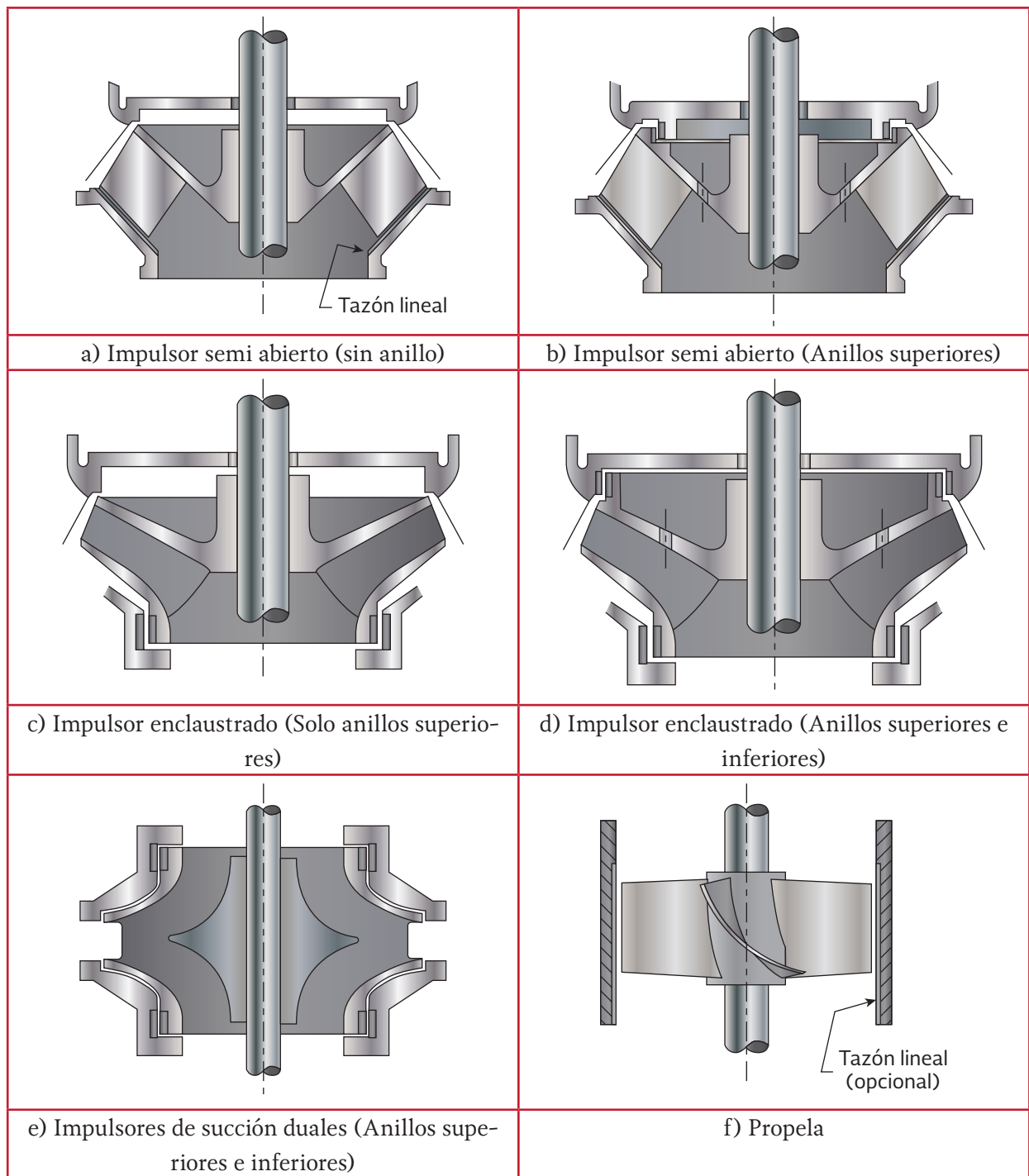
##### ***Flecha hueca***

El motor de flecha hueca tiene una flecha tubular que se extiende a través del rotor del motor. (Ver Ilustración 3.20 e Ilustración 3.24). Un ensamble en la parte superior del motor permite ajustar la flecha para proveer una holgura de funcionamiento y acomodar el ancho del eje. No es necesariamente requerido un acoplamiento de la línea de la flecha localizada en la descarga de la bomba.

#### 3.1.5.3. Tipos de impulsores

Un impulsor semi-abierto típico (Ver Ilustración 3.3 a) y b)) tiene una cubierta trasera, con paletas impulsoras integradas, pero las paletas son abiertas al frente (sin cubierta frontal). El control de fugas se ajusta entre las paletas impulsoras y los tazones o en la línea de tazones. Los impulsores cerrados, de succión simple y doble (Ver Ilustración 3.3 c), d) y e)) tienen ambas cubiertas traseras y frontales. El control de las fugas está limitado por el anillo de holgura. Un impulsor de flujo axial (Ver Ilustración 3.3 f)) tiene una entrada única con el flujo de entrada y descarga axial (o casi axial).

Ilustración 3.3 Tipos típicos de impulsores con anillos para bombas verticales



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2



## 3.2. BOMBAS ROTODINÁMICAS CENTRIFUGAS<sup>18</sup>

### 3.2.1. DEFINICIÓN DE BOMBA ROTODINÁMICA CENTRIFUGA

Las bombas rotodinámicas son máquinas cinéticas que continuamente transfieren energía a un fluido por medio de un impulsor, hélice o rotor.

Los tipos más comunes de bombas rotodinámicas son centrífuga (radial), el flujo mixto y bombas de flujo axial.

Las bombas centrífugas utilizan impulsores con salida radial esencialmente para transferir energía mecánica rotacional al líquido mediante el aumento de la energía cinética del fluido (momento angular). La energía cinética se convierte entonces en energía de presión en la tubería de descarga.

### 3.2.2. TIPOS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

#### 3.2.2.1. Impulsor suspendido

En este grupo, el impulsor está montado en el extremo de un eje que está en voladizo de sus soportes de cojinete.

Estas bombas están acopladas en el rodamiento o directamente sobre el eje del motor; el impulsor está montado sobre el eje de la bomba, separado y soportado por su propio rodamiento. Ver Ilustración 3.4 para obtener una lista de tipos de bombas OH y sus atributos

#### 3.2.2.2. Impulsor entre rodamientos (BB)

En este grupo, los impulsores están montado sobre un eje con cojinetes a ambos extremos. El impulsor está montado entre estos cojinetes. Estas bombas pueden tener una configuración de una, dos o múltiples etapas (Ilustración 3.5).

#### 3.2.2.3. Bombas de otra configuración

Estas bombas funcionan con los mismos principios cinéticos básicos, pero se configuran de manera diferente que el diseño rotodinámico convencional. Los siguientes ejemplos caen dentro de esta descripción.

#### *Turbina regenerativa*

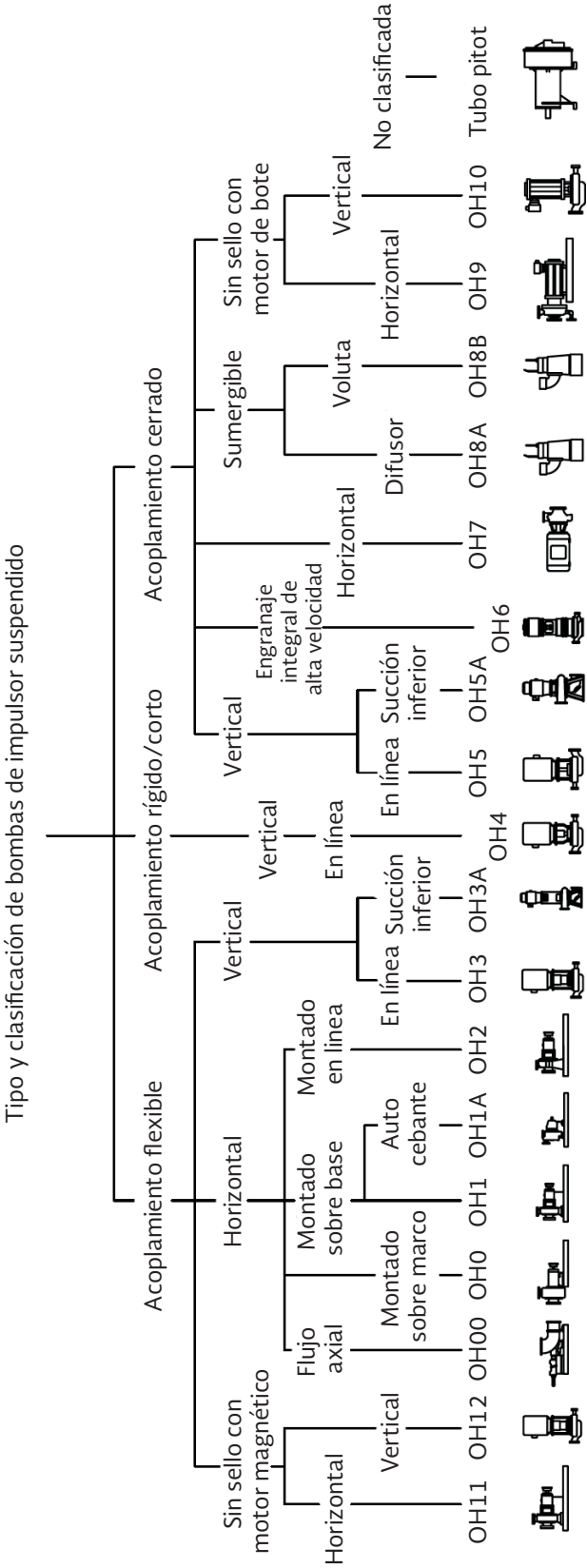
Las bombas se caracterizan por un bajo flujo y carga alta. Este diseño utiliza paletas o cubetas en un conducto o en canal que se fabrican integradas con un impulsor giratorio para impartir energía al líquido bombeado. A través de la acción de corte, el líquido adquiere una rotación espiral a medida que pasa en el conducto del impulsor giratorio y hacia fuera. Los cubos son cavidades de canal radiales separadas por los dientes, también llamados paletas. La presión aumenta uniformemente desde la entrada de la bomba a la descarga (Ilustración 3.6).

#### *Tubo de Pitot*

El tubo de Pitot es una variación de un diseño rotodinámico y utiliza un tubo de pitot, en lugar de una voluta o difusor, para convertir la energía de flujo velocidad a presión. La característica principal de una bomba de tubo pitot que lo diferencia de una bomba de rotodinámica

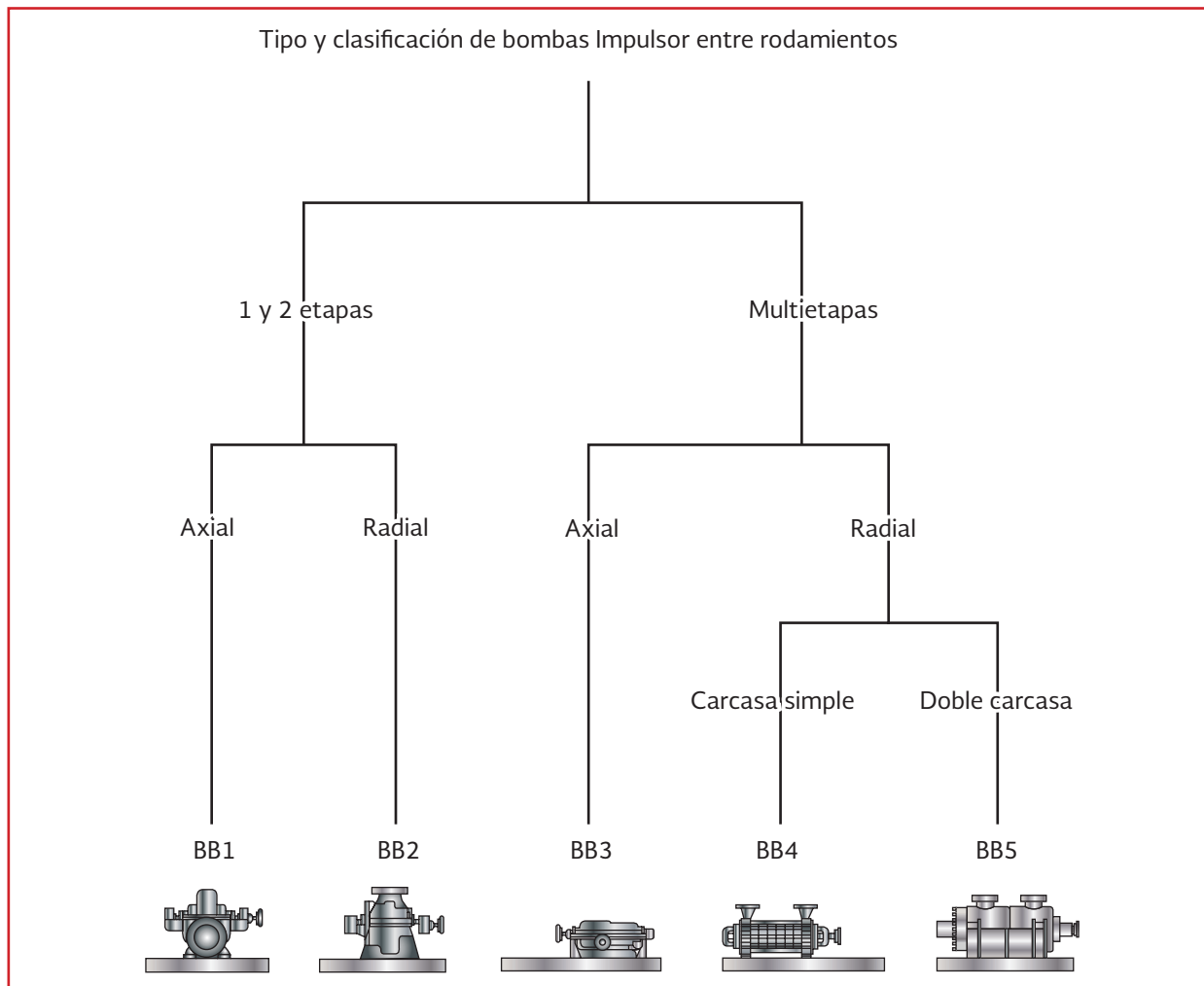
18 Fuente: ANSI/HI 1.1 - 1.2

Ilustración 3.4 Tipos de bombas de impulsor suspendido



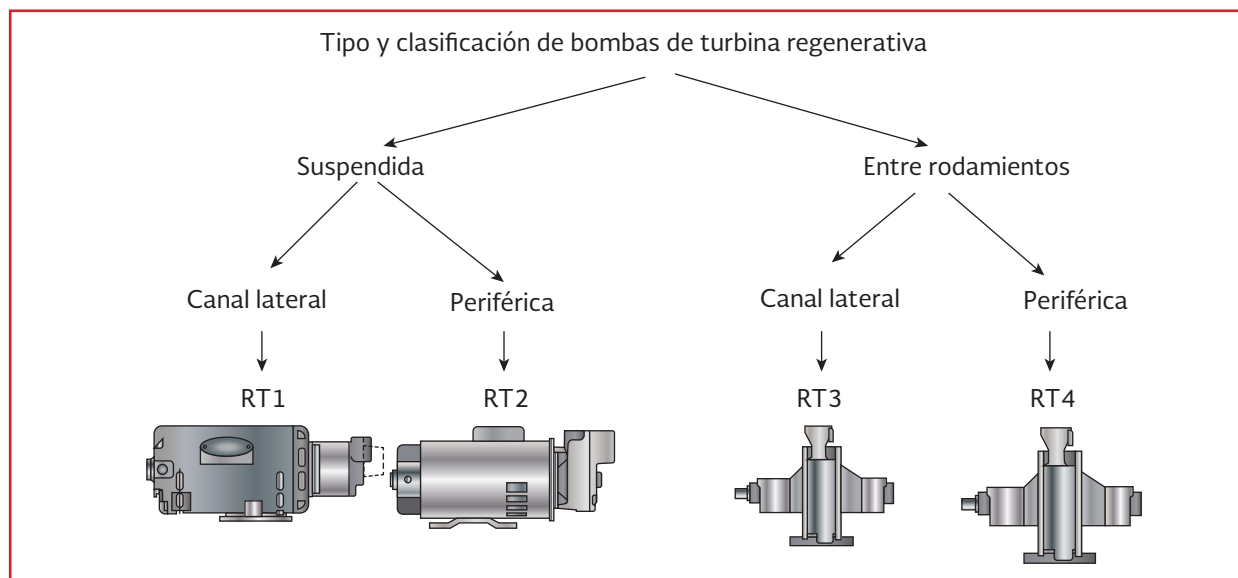
Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.5 Clasificación de bombas rotodinámicas entre rodamientos



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.6 Clasificación de bombas tipo turbina regenerativa



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

convencional es que utiliza una carcasa giratoria en vez de un impulsor para transmitir velocidad al líquido bombeado. El diseño del tubo de Pitot seguir las reglas de afinidad bomba convencionales; sin embargo, es capaz de generar una carga más alta que un diseño rotodinámica comparable a una velocidad punta equivalente.

Existen algunos otros tipos de bombas centrífugas, las cuales pueden consultarse en la norma ANSI/HI 1.1 - 1.2.

### 3.2.3. DIAGRAMAS CONSTITUTIVOS

Los diagramas constitutivos de la Ilustración 3.29 a la Ilustración 3.54, se prepararon con el objetivo de proporcionar una identificación general de los tipos de carcasa, además se busca que sean un lenguaje común entre el fabricante, el diseñador y en personal de instalación. La Tabla 3.1 presenta la definición de la nomenclatura presentada en los diagramas.

### 3.2.4. TAMAÑO DE UNA BOMBA ROTODINÁMICA CENTRÍFUGA

La nomenclatura estandarizada para el tamaño de la bomba se basa en el tamaño máximo del diámetro nominal del impulsor, en milímetros. Por ejemplo, una bomba con 80 mm de succión, descarga de 50 mm, y un diámetro nominal del impulsor máximo de 160 mm, se identificará, en términos de la normatividad ISO, como una bomba 50-160.

Estos método están en conformidad con los métodos utilizados en otros estándares de la industria, tales como ISO 5199 y ANSI / ASME B 73.1.

### 3.2.5. BOMBAS DIMENSIONALMENTE INTERCAMBIABLES

Una bomba intercambiable es aquella en el que las dimensiones de montaje son tales que se puede montar en la base existente una bomba de reemplazo y coincide con la tubería y el motor existente, con características y materiales hidráulicos específicos. La intercambiabilidad puede implicar alguna variación, no necesariamente significativa, como resultado de las tolerancias de fabricación.

### 3.2.6. BOMBAS IDÉNTICAS

Una bomba idéntica es un replica, y es intercambiable con una bomba específica cuando se pretende tener una bomba idéntica o un replica la cual debe ser igual en todos los aspectos, incluyendo piezas, montajes, conectando dimensiones de las bridas y materiales, debe ser identificado como idéntico número de serie de la bomba XXXXXX. Una bomba idéntica o replica debe ser cómo bomba original, en el rendimiento y las dimensiones tan de cerca como las tolerancias de fabricación permiten.

### 3.2.7. ROTOR DESCUBIERTO Y CONJUNTO ROTATORIO

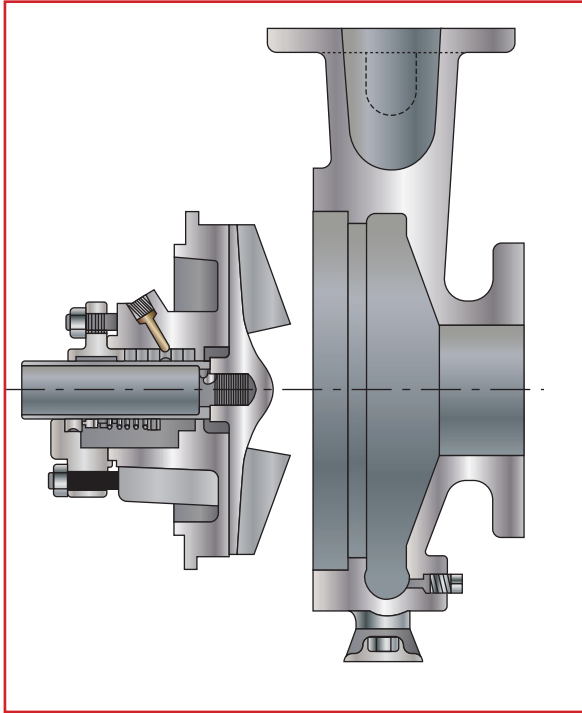
#### 3.2.7.1. Bomba en voladizo

***Montaje de unidad de transporte (extremo húmedo)***

Término utilizado para bombas radiales para describir las partes húmedas, específicamente la carcasa, cubierta, caja de empaques o cámara

sellada, impulsor, sujetadores y juntas asociadas. Ver Ilustración 3.7.

Ilustración 3.7 Montaje de unidad de transporte (extremo húmedo)



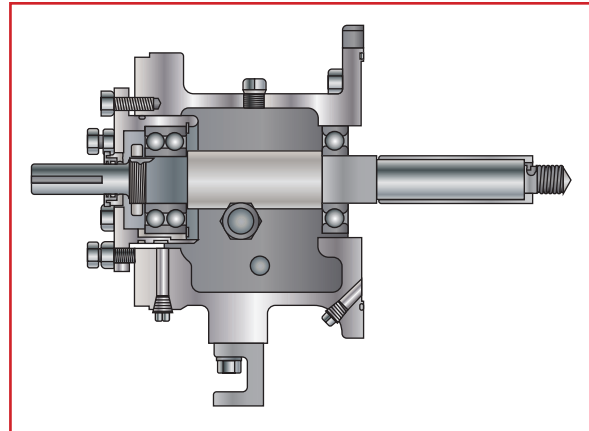
Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

### ***Terminal de potencia (ensamble de bastidor)***

Término utilizado para bombas radiales para describir el conjunto que conecta el motor a la bomba.

El conjunto contiene: eje, manga (si se suministra), el cojinete de empuje, cojinete radial, el alojamiento, carcasa, y el marco (Ilustración 3.8).

Ilustración 3.8 Terminal de potencia (ensamble de bastidor)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

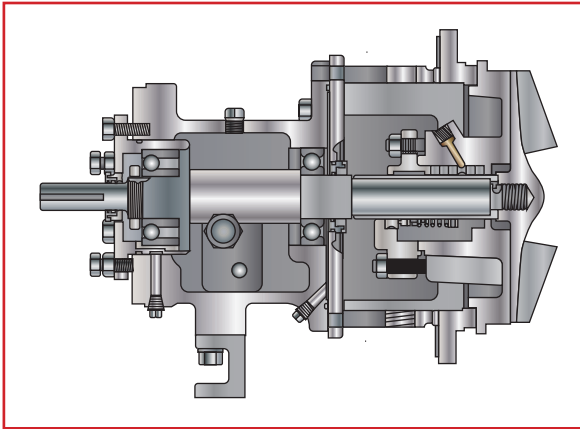
### ***Conjunto extraíble***

Es el principal ensamble para bombas en voladizo, que incluye todas las partes distintas de la carcasa.

El conjunto contiene: tapa de la caja, caja de empaquetadura o la cámara de sello, conjunto del sello mecánico o conjunto de prensaestopas, el adaptador, terminal de potencia y el impulsor.

El conjunto extraíble está configurado como una ayuda para el montaje / desmontaje y puede estar dispuesto para ser instalado y retirado sin alterar la carcasa de la bomba o el controlador. Por este medio proporciona una ayuda para mejorar el mantenimiento al permitir el cambio rápido de salida de las piezas y minimizar el tiempo de inactividad (Ilustración 3.9).

Ilustración 3.9 Conjunto extraíble



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

### **Rotor descubierto**

Un rotor descubierto se con podrá del siguiente conjunto:

- Flecha con todas las tuercas
- Llaves
- Impulsor
- Anillos del impulsor
- Mangas de la flecha

No deberá incluir elementos tales como el sello mecánico, cojinetes, accesorios de rodamientos, acoplamiento, polea, anillo de engrase, protección contra el agua, anillo de cierre y prensaestopas.

### **Conjunto giratorio**

Un conjunto giratorio estará compuesto por un rotor descubierto y anillos de protección (donde se usan), bujes de la carcasa (donde se usan), cojinetes y todas las demás partes estacionarias o giratorias a ser montado sobre la flecha.

Un conjunto giratorio deberá incluir la siguiente:

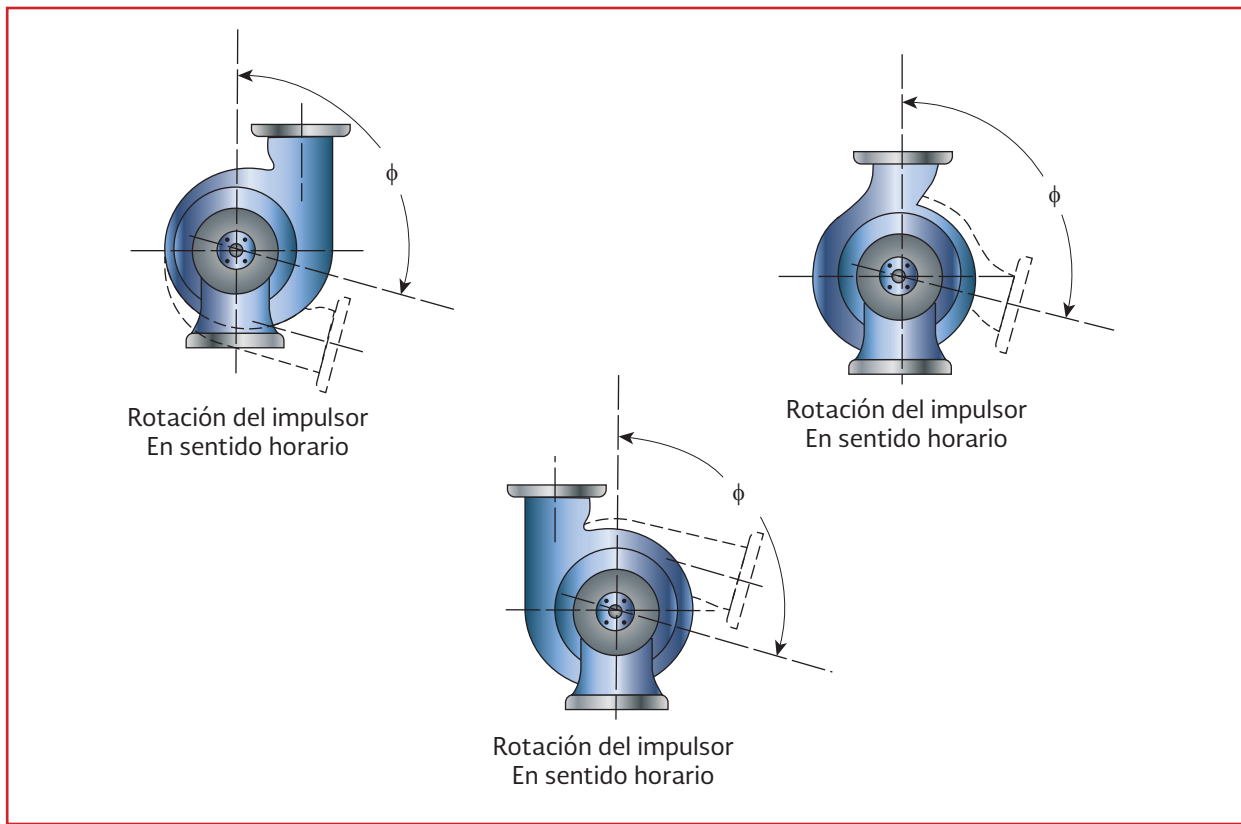
- Empaque y prensaestopas
- Sellos mecánicos y prensaestopas
- Protección contra agua
- Anillo de engrase
- Tapa de alojamiento de cojinetes

No incluirá acoplamiento, polea, ni se incluyen alojamientos de cojinetes, excepto cuando se trata de un diseño que requiere que sean ensamblados antes del montaje de los rodamientos.

### **3.2.8. POSICIÓN DE LA CARCASA**

La posición normal de la boquilla de descarga de una bomba horizontal en el final de la succión será por arriba de la vertical. Posiciones opcionales de la boquilla de descarga serán designadas por grados de rotación, medida desde la línea central en dirección del sentido horario (CW), frente al extremo de accionamiento de la bomba (ver Ilustración 3.10).

Ilustración 3.10 Posición de carcasa y eje de rotación



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.11 Bombas vertical, rotación de la flecha (CW)

### 3.2.9. ROTACIÓN DE LA FLECHA

Las bombas se designan en dirección al sentido horario (CW) o en sentido antihorario (CCW), ver Ilustración 3.10, Ilustración 3.11 e Ilustración 3.12.

Para determinar la rotación de una bomba horizontal, se posiciona uno de pie al final del motor del motor frente a la bomba (Figure 1.1 .6.7a). Si la parte superior del eje gira desde la izquierda a la derecha, la rotación es en sentido horario (CW), y si la parte superior del eje gira de derecha a izquierda la rotación es en sentido antihorario (CCW).

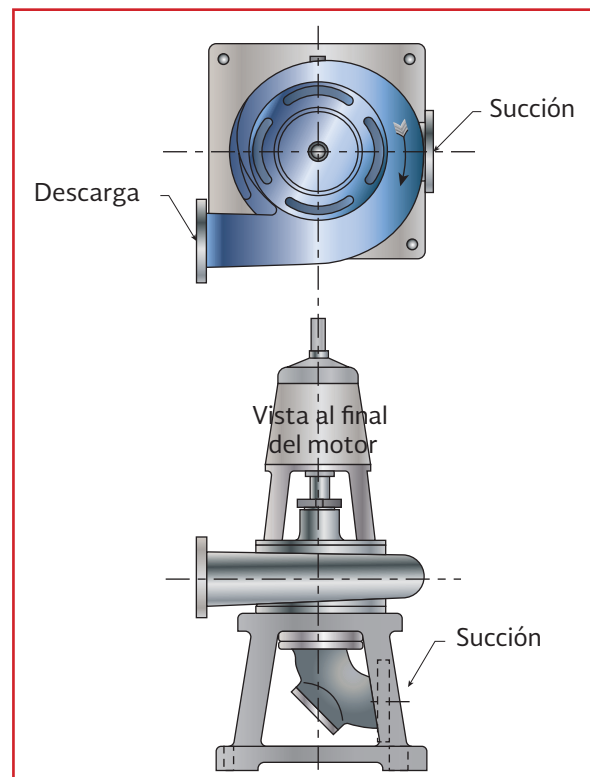
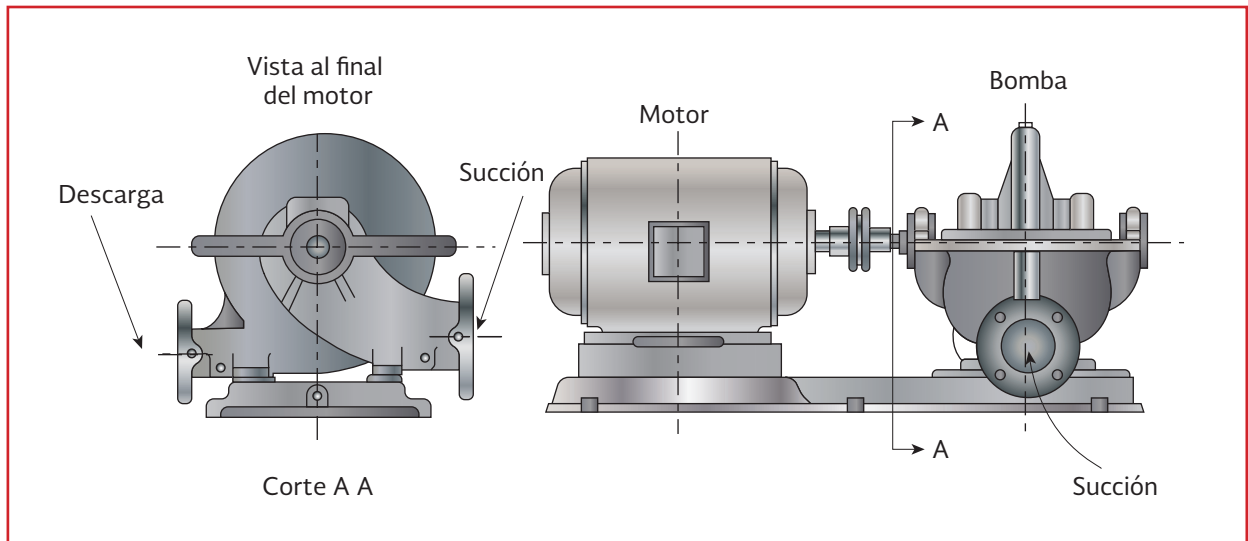


Ilustración 3.12 Bomba horizontal Rotación de la flecha (CW)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

### 3.3. CONSIDERACIONES GENERALES<sup>19</sup>

#### 3.3.1. VELOCIDAD

El número de revoluciones de la flecha en una unidad de tiempo dado. La velocidad es expresada típicamente como revoluciones por minuto.

##### 3.3.1.1. Velocidad continúa máxima permisible

La velocidad de bombeo más alta a la cual el fabricante permite una operación continua.

##### 3.3.1.2. NPSH plano del datum

El datum de la bomba es el plano horizontal a través del centro de la circunferencia descrita por los puntos externos de los bordes de la en-

trada del impulsor. Se encuentra en la primera etapa en el caso de múltiples bombas. En el caso de una doble entrada a la bomba con eje vertical o inclinado, es el plano con el centro más elevado. El fabricante debe indicar la posición del plano con respecto a puntos referencia específica en la bomba (ver Ilustración 3.13).

#### 3.3.2. CARGAS

La carga es la expresión de la energía contenida en el líquido referida a cualquier dato arbitrario. Esta expresada en unidades de energía por unidad de peso o líquido. La unidad de medición para la carga es metros de líquido.

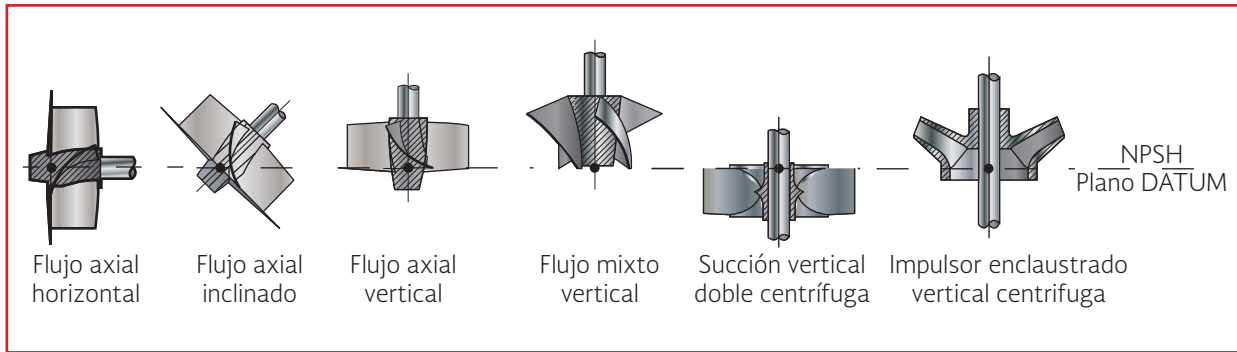
##### 3.3.2.1. Carga de velocidad

La carga de velocidad ( $h_v$ ), es la energía cinética del líquido en una sección transversal dada.

<sup>19</sup> Fuente: ANSI/HI 2.1 - 2.2



Ilustración 3.13 Elevación DATUM para varios tipos de impulsores en su primera etapa



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

### 3.3.2.2. Carga de elevación

La energía potencial del líquido debida a su elevación relativa a un nivel de referencia medido al centro de presión o nivel del líquido.

### 3.3.2.3. Carga total de succión (succión abierta)

Para instalaciones de succiones abiertas (cárcamo húmedo), el impulsor de la primera etapa del cuerpo de tazones se sumerge en un pozo. La carga total de succión ( $h_s$ ) de datum es la sumergencia en metros de agua ( $Z_w$ ). La carga de velocidad promedio del flujo en el pozo es suficientemente pequeña para ser omitida.

### 3.3.2.4. Carga total de succión (succión cerrada)

Para instalaciones de succión cerrada, la boquilla de succión de la bomba puede localizarse ya sea sobre o debajo de los niveles rango.

La carga total de succión ( $h_s$ ), referida al ojo del impulsor de la primera etapa, es la suma algebraica de la carga de succión ( $h_{gs}$ ) más la carga

de velocidad ( $h_{vs}$ ) al punto de unión, más la elevación ( $z_s$ ) del centro de línea de la succión (nanómetro a cero) a la bomba de referencia.

La carga de succión ( $h_s$ ) es positiva cuando la lectura se encuentra sobre la presión atmosférica y negativa cuando es menor por una cantidad que excede la suma de la carga de elevación y la carga de velocidad.

### 3.3.2.5. Carga total de descarga de la bomba

La carga total de descarga ( $h_d$ ), que incluye el ensamble de los tazones menos las pérdidas de fricción internas de la bomba, como la succión, la tubería, y las descargas de codo) es la suma de las cargas de descarga ( $h_{gd}$ ) medidas después del codo de descarga más la carga de velocidad ( $h_{vd}$ ) en el punto de unión más la elevación ( $Z_d$ ) de la descarga en el centro de referencia de la bomba.

### 3.3.2.6. Carga total de bombeo

Es la medida de la energía incrementada por unidad de peso del líquido, impartida al líquido por la bomba, y es la diferencia entre la carga total a la descarga y la carga total de succión.

Es la carga normal específica para aplicaciones de bombeo debido a que las características completas del sistema determinan la carga total requerida.

#### 3.3.2.7. Carga total del ensamble de tazones

El ensamble de tazones es el elemento de bombeo de una bomba rotodinámica vertical y consiste típicamente de una campana de succión, una flecha, una etapa o más etapas y diversas partes, como cojinetes y llaves. Cada etapa consiste en un único tazón, un único impulsor y diversos elementos.

Varios fabricantes publican curvas de operación mostrando el funcionamiento para un ensamble único de tazones. Cuando se evalúa una curva de funcionamiento, el usuario es advertido para revisar cuidadosamente las bases de la curva por que puede estar basada tanto en etapas únicas como en múltiples.

Para un ensamble de múltiples etapas, la carga del tazón simple y la energía es aproximadamente igual al funcionamiento de etapas múltiples dividida por el número de etapas. De cualquier modo, las pérdidas de entrada y salida pueden reducir el funcionamiento del ensamble de un tazón de una sola etapa comparado con el funcionamiento de un multietapa.

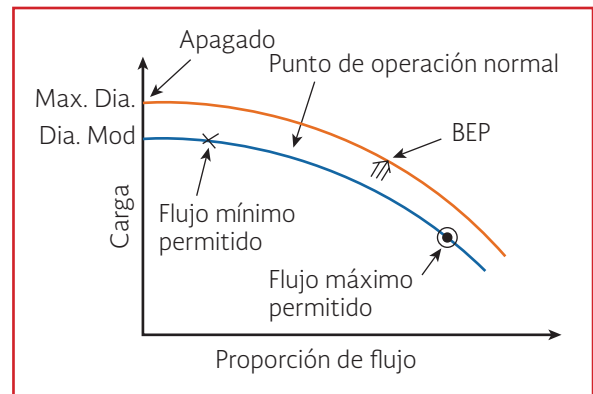
#### 3.3.2.8. Carga atmosférica

Presión atmosférica local expresada en metros.

### 3.3.3. PUNTO ÓPTIMO DE EFICIENCIA DE LA BOMBA (BEP)

Es el punto de la curva de operación (flujo - carga) a la que la eficiencia de la bomba es máxima en condiciones de velocidad de rotación nominal, ver Ilustración 3.14.

Ilustración 3.14 Curva típica de operación para una bomba rotodinámica con baja velocidad específica de diseño



Fuente: ANSI/HI 2.3

### 3.3.4. CONDICIONES DE SUCCIÓN

#### 3.3.4.1. Succión sumergida

Existe una succión sumergida cuando la línea central de entrada de la bomba está por debajo del nivel del agua en el tanque o cárcamo y la superficie libre del agua está expuesta a la atmósfera. Sin embargo, la presión absoluta del líquido que entra en la bomba puede estar por debajo de la presión atmosférica mientras que la bomba esté operando, incluso con succión sumergida.

#### 3.3.4.2. Succión inundada

La succión inundada implica que el líquido fluirá desde una fuente a la bomba con la presión media en la entrada y su presión permanecerá por encima de la presión atmosférica cuando la bomba está funcionando con un gasto específico.

#### 3.3.4.3. Carga estática de succión

Es una presión inferior a la atmosférica en la entrada del impulsor de la primera etapa de la bomba.

#### 3.3.4.4. Carga neta positiva de succión

La carga neta positiva de succión disponible (NPSHA) es la carga de succión total de absoluta líquida, determinada en la primera etapa del impulsor, menos la presión de vapor absoluta del líquido:

$$NPSHA = h_{sa} - h_{vp} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$h_{sa} = h_{atm} + h_s \quad \text{Ecuación 3.2}$$

donde:

$h_{sa}$  = Carga de succión absoluta, en m

$h_{vp}$  = Presión de vapor absoluta del líquido, en m

$h_s$  = Carga de succión, en m

#### 3.3.4.5. Carga de succión neta positiva requerida

La carga de succión neta positiva requerida (NPSHR), es el valor de NPSH mínimo dado por el fabricante o proveedor para una bomba,

en el cual se logra un rendimiento específico para un gasto, velocidad, y carga sin la aparición de cavitación visible, aumento del ruido y las vibraciones debido a la cavitación, caída de la eficiencia o erosión por cavitación).

En las bombas de bote (ver Ilustración 3.25), NPSHA se determina a menudo en la brida de succión. Debido a que el NPSHR es en el impulsor de primera etapa, el valor NPSHA debe ajustarse al impulsor de primera etapa mediante la adición de la diferencia en elevación y restando las pérdidas en el bote.

#### 3.3.4.6. Carga de succión neta positiva con pérdida de 3 por ciento de la altura total

el NPSH3 es la carga de succión, sobre la presión de vapor, requerida para evitar la pérdida de más de 3 por ciento en la carga total de la primera etapa de la bomba a una velocidad específica de flujo.

#### 3.3.4.7. Máxima presión de succión

La máxima presión de succión ( $P_{s\max}$ ), Es la más alta presión de succión a la que se somete la bomba durante el funcionamiento.

### 3.3.5. POTENCIA

#### 3.3.5.1. Potencia de entrada de la bomba

La energía necesaria para operar el sistema de bombeo completo, incluyendo el conjunto de tazones de entrada, la pérdida de potencia en el eje, pérdidas por fricción y pérdida de em-

puje en el cojinete, la potencia suministrada a la flecha de la bomba, también llamada potencia al freno.

#### 3.3.5.2. Eficiencia global

Esta es la relación de la energía transmitida al líquido ( $P_w$ ) por la bomba y la energía suministrada por el motor ( $P_{Motor}$ ) expresada en por ciento.

#### 3.3.5.3. Eficiencia de la bomba

La relación de la potencia de salida de la bomba ( $P_w$ ) a la potencia de entrada de la bomba ( $P_p$ ).

### 3.3.6. PRESIONES DE BOMBEO

#### 3.3.6.1. Presión de trabajo

La presión de descarga máxima que podría ocurrir en la bomba cuando se opera a la velocidad y la presión nominal de succión.

#### 3.3.6.2. Presión máxima de trabajo permitida

Presión continua máxima para la cual se fabricó la bomba (o cualquier parte a la que se refiere el

término) al manipular el líquido especificado a la temperatura máxima de funcionamiento especificada. Esta presión deberá ser igual o mayor que la presión de descarga máxima. En el caso de bombas de doble carcasa, la presión de trabajo máxima admisible de la carcasa en el lado de succión pueden ser diferente de que en el lado de descarga.

#### 3.3.6.3. Presión máxima de descarga

La presión de descarga más alta a la que se somete la bomba durante el funcionamiento.

### 3.3.7. EQUILIBRIO DEL IMPULSOR

#### 3.3.7.1. Equilibrio en un plano

Corrección de un desequilibrio residual hasta un límite máximo especificado, eliminando o añadiendo peso en un solo plano de corrección.

#### 3.3.7.2. Equilibrado en dos planos

Corrección del desequilibrio residual a un límite especificado mediante la eliminación o la adición de peso en dos planos de corrección.

### 3.4. VELOCIDAD ESPECÍFICA Y VELOCIDAD ESPECÍFICA DE SUCCIÓN<sup>20</sup>

El cálculo de la velocidad específica y de la velocidad específica de succión debe realizarse de manera cuidadosa, antes de hacer comparaciones porque hay diferencias sutiles pero significativas entre los métodos utilizados.

Al calcular el valor de la velocidad específica y la velocidad específica de succión, la unidad de medida utilizada para el flujo m<sup>3</sup>/s.

#### 3.4.1. VELOCIDAD ESPECÍFICA

Índice de rendimiento entre el flujo para el punto óptimo de eficiencia de la bomba (BEP) el diámetro máximo del impulsor y una velocidad de rotación dada. Velocidad específica se expresa por la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{n(Q)^{0.5}}{H^{0.75}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

donde:

- $n_s$  = Velocidad específica
- $n$  = Velocidad de rotación, en r/min
- $Q$  = Flujo total de la bomba, en m<sup>3</sup>/s
- $H$  = Carga por etapa, en m

Una definición alternativa para la velocidad específica es el caudal por ojo del impulsor en lugar de caudal total. En una bomba de doble turbina de aspiración, cuando se utiliza este método alternativo, el valor resultante de la velocidad específica es menos, considerando un factor

de multiplicación de  $1/(2)^{0.5}$ , es decir 0.707 veces menor.

#### 3.4.2. VELOCIDAD ESPECÍFICA DE SUCCIÓN

Índice de las características de funcionamiento de la succión bomba determinados para el punto óptimo de eficiencia de la bomba, para el diámetro máximo de la primera etapa del impulsor. La velocidad específica de succión es un indicador de la carga de succión neta positiva requerida para una caída de carga de 3 por ciento (NPSH3) en un determinado flujo ( $Q$ ) y la velocidad de rotación ( $n$ ) y se expresa por la siguiente ecuación:

$$S = \frac{n(Q)^{0.5}}{(NPSH3)^{0.75}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

donde:

- $S$  = Velocidad de succión específica
- $n$  = Velocidad de rotación, en r/min
- $Q$  = Flujo por el ojo del impulsor, en m<sup>3</sup>/s
- = Flujo total de succión por impulsor simple
- = La mitad del flujo total en impulsores de succión doble
- $NPSH3$  = Carga neta positiva de succión en metros, que hará que la carga total (o la carga de la primera etapa de la bomba de etapas múltiples) se reduzca en un 3%. El NPSH (NPSHR) requerido por este criterio se refiere como NPSH3

<sup>20</sup> Fuente: ANSI/HI 2.3

### 3.5. INTRODUCCIÓN A LA CLASIFICACIÓN DE BOMBAS

Las bombas rotodinámicas pueden clasificarse por su impulsor, configuración de carcasa, aplicación final, velocidad específica o configuración mecánica. El método utilizado en este libro se basa principalmente en las características mecánicas distintivas. De forma general, los tipos de bombas se clasifican en voladizo (tipo OH), entre los cojinetes (tipo BB) o verticalidad suspendidos (Tipo VS).

Históricamente para diseño y aplicación, se subdividen en:

- Bombas centrífugas rotodinámicas
- Bombas verticales rotodinámicas

La diferencia entre las dos categorías se determina por la configuración hidráulica (impulsor o carcasa). Los tipos de bombas pueden ser claramente identificados para encajar en cada una de estas categorías definidas.

### 3.6. RENDIMIENTO DE LA BOMBA, CRITERIOS DE SELECCIÓN<sup>21</sup>

#### 3.6.1. REQUISITOS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Un sistema de bombeo se compone de las tuberías, válvulas, cárcamos, equipos de medición y cualquier otro conducto a través del cual el líquido está fluyendo.

Para el adecuado funcionamiento del sistema de bombeo, la bomba y los componentes del sistema deben coincidir correctamente entre sí.

Los requisitos y las características del sistema deben ser determinados antes de seleccionar la bomba. Pueden ser necesarias modificaciones en el sistema para lograr la compatibilidad general. Se deben considerar los cambios en el sistema durante un período de tiempo, si las condiciones de funcionamiento cambian.

Se debe considerar como afecta a la sumergencia de los elementos del sistema de bombeo, la variación o reducción del nivel de agua en cárcamos y pozos.

#### 3.6.2. CURVAS DEL SISTEMA CONTRA CURVA DE BOMBA

En la Ilustración 3.15 se muestra una típica curva del sistema y una para bomba. Tenga en cuenta que la bomba funciona siempre en el punto de intersección de la curva de la bomba y la curva del sistema.

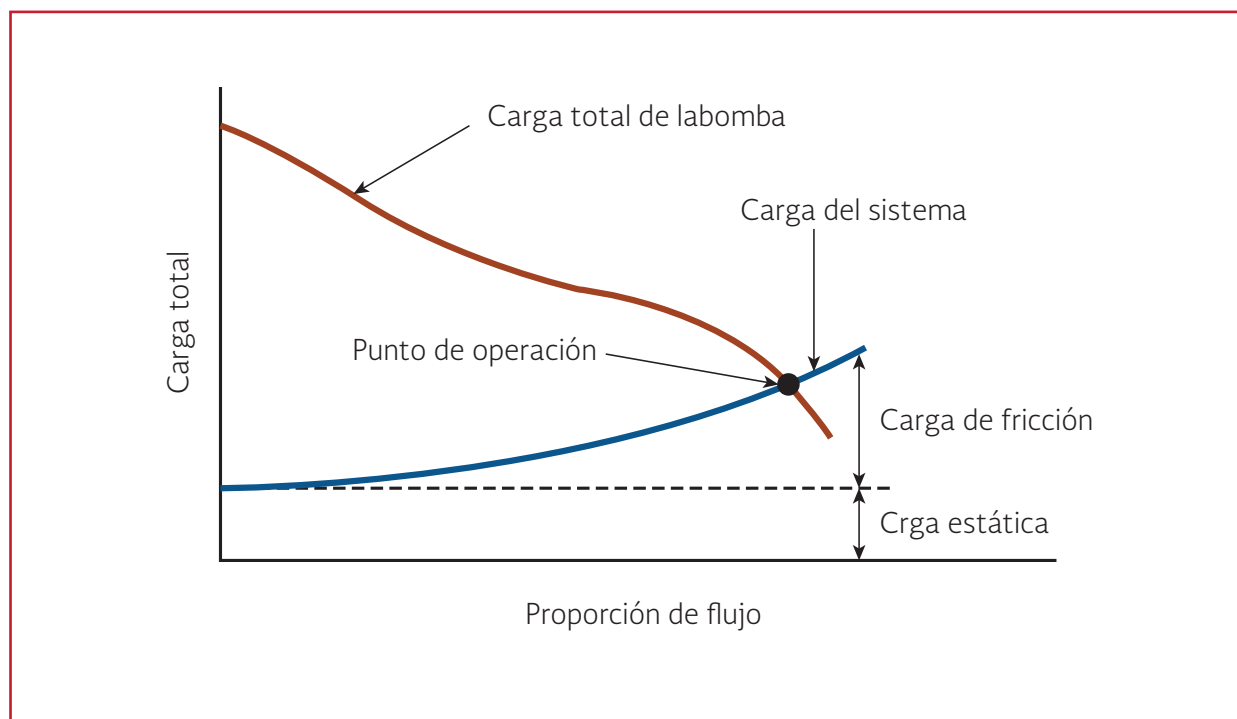
En sistemas más complejos, la carga estática de succión y descarga, los niveles de superficie libre del agua o las presiones, presentan variaciones; la carga de fricción se verá afectada por los cambios en la condición de la tubería y del mismo modo, la curva de la bomba va a cambiar si las bombas se operan a velocidad variable o si varias bombas son operadas simultáneamente.

Los sistemas con sifón en la tubería de descarga y sin válvula, típicas de las instalaciones de

---

21 Fuente: ANSI/HI 2.3

Ilustración 3.15 Curva de la bomba contra la curva del sistema



Fuente: ANSI/HI 2.3

bombas de carga baja, requerirá mayor carga para la puesta en marcha que la carga de servicio y probablemente una mayor potencia de arranque que la potencia de operación.

Todos estos cambios generan nuevos puntos de intersección de las curvas de la bomba y del sistema. Un gráfico completo de estas curvas es una herramienta muy útil para determinar el rango total de operación de la bomba.

Cabe señalar que la mayoría de las clasificaciones de las curvas de los fabricantes se basan en el desempeño conjunto de los tazones. Las pérdidas en las columnas de la bomba y la pérdida en el codo de descarga deben incluirse en la curva de rendimiento de la bomba.

### 3.6.3. TRANSITORIOS HIDRÁULICOS

#### 3.6.3.1. Golpe de ariete

El golpe de ariete es un aumento súbito de la presión debido rápidos cambios en la velocidad de un líquido que fluye a través de una tubería. Este cambio de presión dinámica es el resultado de la transformación de la energía cinética de la masa en movimiento de líquido en energía de presión. Cuando la velocidad cambia, por el cierre de una válvula, al iniciar o detener una bomba, o por algún otro motivo, la magnitud de la presión producida es con frecuencia mucho mayor que la presión estática en la conducción y puede causar la ruptura o daño a la bomba, la tubería y los accesorios. Esto se aplica tanto a

las instalaciones de bombas horizontales y verticales.

La carga debida a golpes de ariete es una función del cambio de velocidad, el diámetro y la longitud de la tubería, así como la velocidad de la onda de presión a lo largo de la tubería.

El golpe de ariete puede ser controlado mediante la regulación de tiempo de cierre de las válvulas, reduciendo la aceleración o desaceleración de la bomba, o con la instalación de válvulas de alivio, cámaras de oscilación, tanques amortiguadores y otros medios.

La instalación de una válvula de admisión y expulsión de aire puede ser necesaria cuando una bomba vertical tiene que conducir el aire de la columna cuando se arranca. Cuando la bomba se apaga, la válvula admite aire y permite que el agua en la columna fluya hacia atrás a través de la bomba.

#### 3.6.3.2. Separación de columna líquida

En bombas verticales, donde la longitud desde la superficie libre del agua y el nivel de descarga es mayor que la presión atmosférica, expresada en términos de carga o columna líquida que por lo general es de 10 metros, se puede producir una presión vapor cuando el equipo se desactiva, independientemente de si la válvula de descarga es una válvula de compuerta de apertura lenta o una válvula de retención (*check*). Esta presión ocasiona que el agua dentro de la columna se vaporice, generando una bolsa de vapor que al reiniciar la operación del equipo, genera un súbito cambio de presión que conlleva condiciones potencialmente perjudiciales. La bomba no se

debe iniciar cuando se presenta esta condición. La formación del vacío puede reducirse en las bombas de tipo VSO con la colocación apropiada de las válvulas de retención en la tubería de succión. Si la descarga de la bomba está abierta a la atmósfera, no es necesaria una válvula de admisión y expulsión de aire.

Para mayor abundamiento se recomienda revisar el libro de *Fenómenos Transitorios en Líneas de Conducción* del MAPAS.

#### 3.6.4. ANÁLISIS DE PUESTA EN MARCHA Y APAGADO

Durante la puesta en marcha, el motor debe proporcionar par acelerador adecuado (por encima de par normal de operación) para asegurar un exitoso comienzo en un plazo razonable de tiempo. Debido a que el par está directamente relacionado con la energía, la forma de la curva de potencia de entrada de la bomba llega a ser muy importante. Si la potencia máxima de entrada se produce en el rango normal de operación, el motor seleccionado para la operación normal es capaz de arrancar la bomba. Sin embargo, si se requiere de una potencia mayor, lo cual es común para las bombas de velocidad específica alta, los requisitos de arranque se vuelven críticos para la selección del motor.

En un sistema con una bomba o cuando se inicia la primera de varias unidades en paralelo, la unidad se puede iniciar con las válvulas de descarga abierta, o parcialmente abierta, para evitar el funcionamiento en cierre. En bombas con velocidad específica alta, que funcionan en paralelo, hay varias opciones para iniciar la segunda y las sucesivas unidades. Los procedi-



mientos de arranque se deben tomar en cuenta para la selección final del motor. Normalmente, un procedimiento para puesta en marcha, consiste en sincronizar la apertura de la válvula de descarga con el arranque del motor. En este caso para la selección se debe considerar el intervalo de tiempo para la apertura de la válvula.

Algunos de los parámetros a tener en cuenta son:

- Tiempo de apertura de la válvula
- La longitud y el diámetro del sistema de tuberías para determinar el efecto del agua en el sistema
- La inercia rotacional (WK2 o WR2, en newton-metros cuadrados) de la bomba y el motor
- Las características de rendimiento de cuatro cuadrantes (diagrama Karman-Knapp) de la bomba
- La velocidad del par, características de velocidad-tiempo y las características del motor
- La curva del sistema, el número de bombas en paralelo, y la tensión de arranque disponible
- El análisis resultante no sólo se asegurará de que el motor es capaz de echar a andar la bomba, puede generar una inversión de capital inicial más baja y una mayor eficiencia operativa
- Cuando las bombas verticales se inician con las válvulas de descarga cerradas, se debe hacer una provisión para ventilar rápidamente la columna y la cabeza de la bomba para asegurarse de que los casquillos de cojinete de línea de eje se lubriquen y el aire no se comprima y expanda súbitamente
- Evitar el golpe de ariete es la principal

preocupación durante el paro de una bomba, especialmente en instalaciones con conducciones largas. El cierre gradual de la válvula de descarga es una manera de eliminar o reducir el golpe de ariete. Puede ser necesario un análisis de transitorios a través de modelos de simulación matemáticos para estimar la magnitud de un golpe de ariete.

- Debe considerarse la posibilidad de que se presente una circulación en sentido inverso después del apagado de una bomba. Cuando se determina que se puede presentar esta situación, el motor y la bomba deben estar diseñados para la velocidad máxima rotación inversa. Existen algunos medios para evitar o disminuir los efectos por flujo inverso, revisar el libro de *Fenómenos Transitorios en Líneas de Conducción* del MAPAS.

### 3.6.5. CURVA VELOCIDAD - PAR DE BOMBA Y MOTOR

Un gráfico de velocidad frente a los requisitos de par, durante la fase de arranque de una bomba a veces se compara con una curva de velocidad frente al par de accionamiento del motor. El motor debe ser capaz de suministrar más par en cada velocidad que la basada en valores corregidos de toda velocidad, las condiciones de BEP con el fin de llevar la bomba hasta la velocidad nominal. Esto suele ser fácilmente alcanzable con motores de inducción estándar, pero bajo ciertas condiciones, tales como bombas con velocidad específica alta o tensión de arranque reducida, se puede requerir un motor con alto par de arranque. Los motores síncronos suelen tener menos par de arranque que un motor de inducción y se deben revirar las características de la velocidad con respecto al par.

Cuando las bombas rotodinámicas operan en un rango de velocidad específica medio (menos de  $n_s = 68$ ) se inician con la válvula de descarga cerrada y el procedimiento utilizado para calcular los requisitos mínimos de par a varias velocidades bajo esta condición es la siguiente:

- Determinar la carga máxima de la bomba, requerida a la velocidad nominal en condiciones de cierre. Convertir esta potencia al par.
- El par de la bomba varía con el cuadrado de su velocidad

A velocidad cero, el par de torsión sería teóricamente cero, pero el motor debe superar el sello mecánico (o prensaestopas) de fricción, la inercia rotacional y el cojinete de fricción con el fin de iniciar el giro del eje. Esto requiere un par a velocidad cero de 2 a 15 por ciento del par máximo a la velocidad nominal.

Los requisitos de velocidad-par, para condiciones de arranque que no sean de descarga cerrada, varían en función del porcentaje de carga estática de altura total; el contenido volumétrico de la línea de descarga; la condición de la línea de descarga, es decir, vacía, completa o parcialmente llena; y las condiciones que pueden cambiar durante el período que arranque, como la apertura o cierre de válvulas de derivación. Cada una de estas condiciones determina un requisito de par diferente a cualquier velocidad específica, que debe considerarse al momento de seleccionar la bomba.

Cualquier procedimiento para transmitir los requerimientos de arranque de la bomba desde el motor debe ser claramente entendido y considerado en la selección de la bomba y el motor. Los

requerimientos de par de la bomba a menudo se indican en dos valores: Válvula abierta y Válvula cerrada.

La condición de Válvula abierta es el punto de operación nominal de la bomba; la condición de Válvula cerrada es el valor para el caudal mínimo. En la mayoría de las instalaciones, la operación de la bomba se inicia con una válvula físicamente cerrada o una válvula de retención, que puede requerir un par más bajo, pero que tiene limitaciones en tiempo de funcionamiento.

Las curvas de velocidad-par pueden variar dependiendo de la velocidad específica de la bomba ( $n_e$ ), sin embargo, para la mayoría de los equipos de flujo radial los siguientes datos de la curva de velocidad-par son representativos:

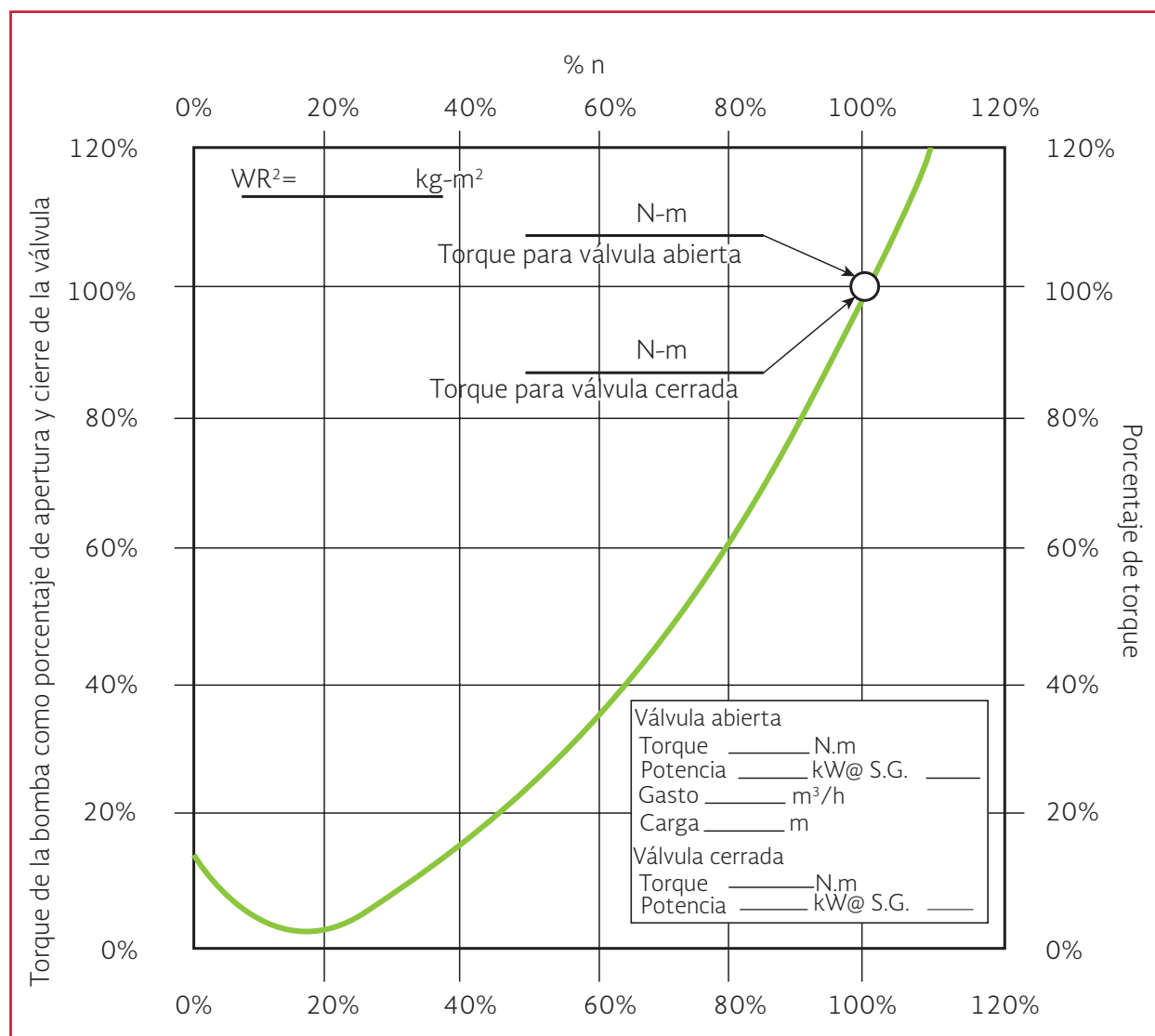
- El par de arranque puede variar dependiendo del tiempo de apertura de la válvula y la curva de carga del sistema. Para bombas grandes y de arranque especial, los requisitos para la selección del motor deben ser revisados de forma individual por un especialista electromecánico
- Los valores de tolerancia del rendimiento de las bombas verticales rotodinámicas para su aceptación son típicamente unilaterales, lo que resulta en valores de carga y flujo por encima del punto de diseño específico, que es acompañada por un aumento de la potencia de arranque. Esto puede resultar en un aumento adicional de 10 por ciento en la potencia y el par requerido para el motor

Las curvas, de la Ilustración 3.16 y la Ilustración 3.17, muestran cómo puede realizarse este procedimiento antes de seleccionar el motor.

Las curvas pueden completarse utilizando los ejemplos y los valores WR2 o WK2 suministrados por el fabricante de la bomba. También se pueden aplicar condiciones limitantes. La tensión reducida de arranque requiere confirmación específica que cualquier motor seleccionado será capaz de acelerar la bomba a la velocidad de funcionamiento en un plazo de tiempo aceptable.

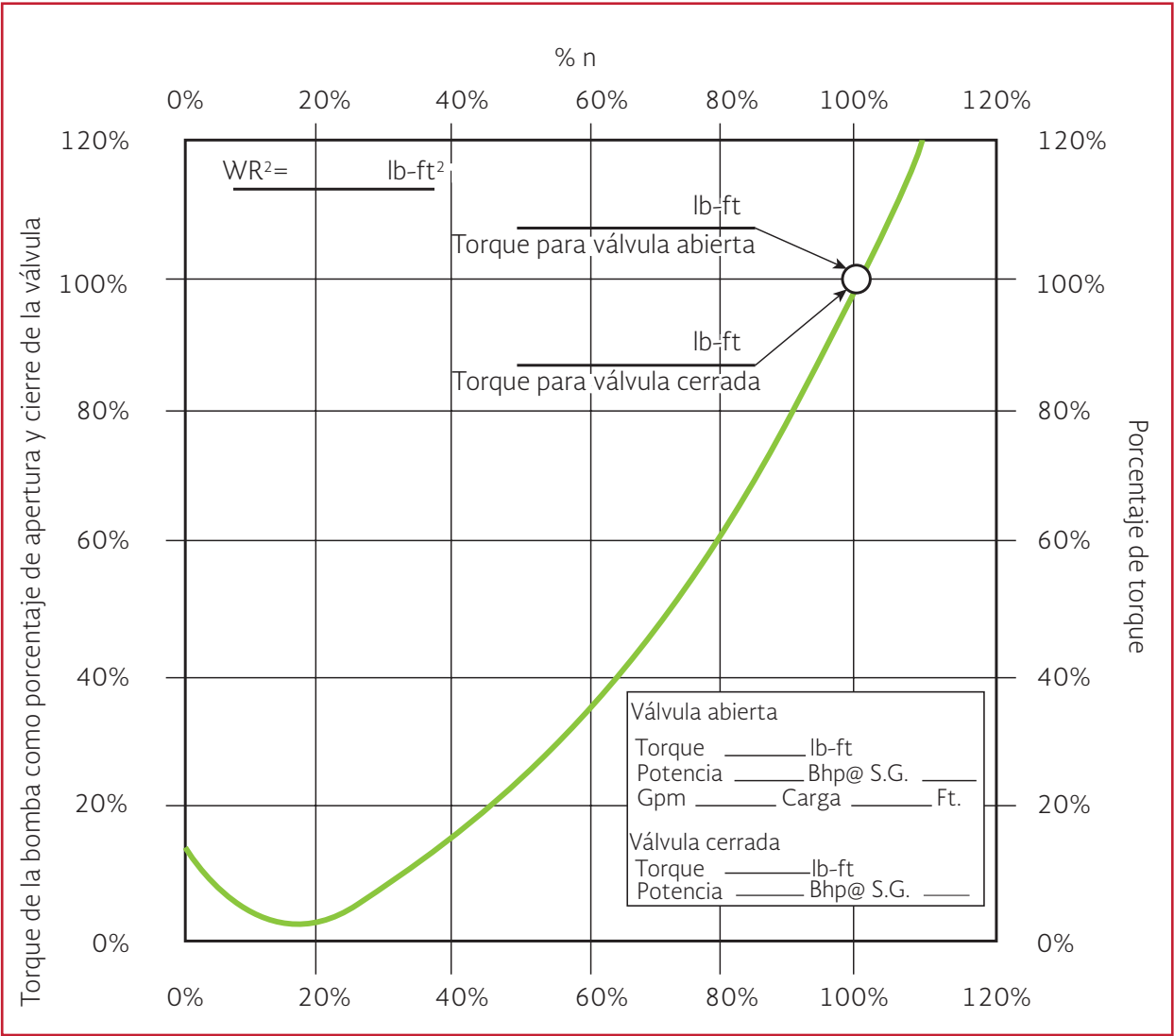
Para bombas pequeñas <10 kW (13 hp) con altas carga succión alta o cierres mecánicos duales pueden tener mayores pares de arranque de los que se muestran. Debido a la fricción y las pérdidas adicionales causadas por los sellos mecánicos, etcétera. Los motores deben tener el tamaño adecuado para satisfacer estos requisitos de arranque.

Ilustración 3.16 Curva de velocidad - par (en sistema internacional)



Fuente: ANSI/HI 2.3

Ilustración 3.17 Curva de velocidad - par (en sistema ingles)



Fuente: ANSI/HI 2.3

### 3.6.5.1. Rendimiento de la bomba después de un cambio de velocidad de rotación o diámetro del impulsor

Una característica de las bombas rotodinámicas (horizontal y vertical) es que es posible determinar el cambio en el flujo, la carga y la potencia en cualquier punto de las curvas características cuando hay un cambio en la velocidad de rotación. El rendimiento varía en función de las siguientes ecuaciones conocidas como reglas de afinidad:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad \text{Ecuación 3.6}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

donde:

|       |   |                                                       |
|-------|---|-------------------------------------------------------|
| $Q_1$ | = | Gasto para la velocidad original en m <sup>3</sup> /h |
| $H_1$ | = | Carga total para la velocidad original en metros      |
| $P_1$ | = | Potencia para la velocidad original en kW             |
| $n_1$ | = | Velocidad original de la bomba                        |
| $Q_2$ | = | Gasto para la velocidad deseada en m <sup>3</sup> /h  |
| $H_2$ | = | Carga total para la velocidad deseada en metros       |
| $P_2$ | = | Potencia para la velocidad deseada en kW              |
| $n_2$ | = | Velocidad deseada para la bomba                       |

Esto puede ser más útil para predecir el rendimiento de la bomba cuando se aplican dispositivos de arranque de velocidad variable.

La relación de potencia se basa en la consideración de que la eficiencia de la bomba se mantiene constante con el cambio en la velocidad. Sin embargo, si la velocidad de rotación se reduce sustancialmente de original, la pérdida de potencia relativa en los cojinetes y el sello mecánico de fricción puede ser aumentada. Las pérdidas por fricción hidráulica también pueden aumentar relativamente cuando se reduce el número de Reynolds en la tubería.

Estas mismas reglas de afinidad se aplican para cambios en el diámetro del impulsor de bomba. Para el cambio de diámetro se debe sustituir en las ecuaciones anteriores  $D_1$  para  $n_1$  y  $D_2$  para  $n_2$ , donde:

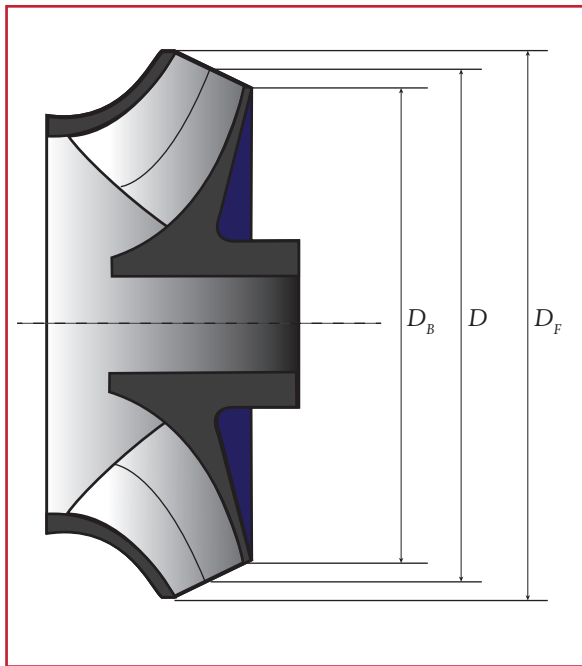
donde:

|       |   |                                |
|-------|---|--------------------------------|
| $D_1$ | = | Diámetro original del impulsor |
| $D_2$ | = | Diámetro reducido del impulsor |

Con respecto al cambio de diámetro del impulsor, la aplicación de las reglas de afinidad tiene limitaciones y no siempre refleja con precisión el comportamiento de una bomba cuando se reduce el impulsor. En el rango de velocidad específica de 25 y superior, los exponentes para las relaciones de diámetro en las ecuaciones anteriores para el flujo y la carga pueden ser diferentes de 1 y 2, respectivamente, para una bomba en específico. Las reglas de afinidad no son útiles para velocidades específicas por encima de 150.

Normalmente, el diámetro  $D$  es el diámetro exterior (ver Ilustración 3.18) de los álabes del impulsor, pero si la salida del impulsor es angulada, entonces  $D$  será:

Ilustración 3.18 Salida del impulsor angulada



**Nota Importante:**

Las ecuaciones presentadas en este apartado no son recomendadas sin consultar las especificaciones de la bomba, específicamente cuando se cambian los diámetros del impulsor en más de un 5 por ciento.

$$D = \sqrt{\frac{D_F^2 + D_B^2}{2}} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Si el espesor de los álabes del impulsor en el diámetro exterior se reduce por el uso, el nuevo impulsor deberá tener el mismo diámetro.

### 3.6.6. CONSIDERACIONES PARA EL NPSH MARGINAL

Cada sistema debe estar diseñado de tal manera que el NPSHA sea igual o mayor a la NPSHR en todo el rango de operación. Si la bomba

se diseña para operar con una carga de succión positiva neta igual a NPSH3, el tazón de primera etapa se reducirá en un 3 por ciento a partir de la curva de rendimiento establecido para una velocidad dada, y se presentara aumento de ruido, vibración y daños asociados a la cavitación. Es por eso que los sistemas de bombeo deben estar diseñados de tal manera que el NPSHA exceda el NPSH requerido por la bomba por un cierto valor, llamado NPSH marginal. La cantidad de margen requerido varía dependiendo del diseño de la bomba, la aplicación, y los materiales de construcción. Hay una tendencia en la mayoría de sistemas de bombeo para disminuir el NPSHA con el aumento del flujo; igualmente hay una tendencia en la mayoría de los diseños de bombas para aumentar el NPSH3 con el aumento de la velocidad de flujo. Por lo tanto los NPSH marginales adecuados deben ser revisados y confirmados para todos los caudales previstos y considerando las recomendaciones del fabricante, para mayor abundamiento consulte la norma ANSI/HI 9.6.1.

### 3.6.7. NIVELES DE RUIDO

En general, para bombas verticales, el nivel de sonido generado por el motor es mayor que el generado por la bomba, además se debe tomar que este aumenta cuando existen variadores de frecuencia.

En el caso de las bombas de flujo axial, turbina vertical, flujo mixto, doble aspiración (tipos VSO, VS1, VS2 y VS3) tienen sus elementos de bombeo sumergidos por debajo del suelo de la estación, también las bombas de una o varias etapas verticales (tipos VS6 y VS7) tienen sus elementos de bombeo sumergidos dentro de la carcasa y típicamente por debajo del nivel del suelo. En estos casos

al estar sumergidas se amortigua y reduce significativamente el nivel de ruido de la bomba, medida en las estación de bombeo.

Las principales fuentes de sonido de una bomba vertical, sin considerar el motor, son los codos, la descarga de la bomba y cualquier sonido residual de los elementos del sistema de bombeo. El nivel de ruido del motor normalmente excederá el nivel de ruido de la bomba vertical. El sonido emitido por las tuberías, válvulas, estructuras de instalaciones conectadas, etcétera, pueden ser importantes contribuyentes a los niveles globales de ruido. Si el nivel de ruido de la bomba es en realidad igual al nivel de ruido del motor, sería agregar sólo 3 decibelios al nivel de ruido del motor.

Para obtener información sobre los niveles de ruido, consúltase la norma ANSI/HI 2.4 y ANSI / HI 9.1 a 9. 5.

### 3.6.8. GASTO MÍNIMO

Las bombas rotodinámicas tienen limitaciones para flujo mínimo al que deben ser operados de forma continua o por un período prolongado de tiempo. Después de arrancar una bomba, no se debe operar con la válvula de descarga cerrada.

El funcionamiento de las bombas en flujo reducido puede dar lugar a los siguientes problemas:

**Incremento de temperatura:** La absorción de la energía de entrada en el líquido bombeado eleva la temperatura del líquido. En general,

aumento de la temperatura a través de la bomba debe limitarse a las recomendaciones del fabricante.

**Recirculación de succión:** el flujo circulatorio en el ojo del impulsor puede causar picaduras puntuales y daños mecánicos. Tal flujo depende del diseño de entrada del impulsor.

**Recirculación de descarga:** el flujo circulatorio en la zona de descarga de los impulsores puede causar grandes fuerzas en la cubierta, resultando en desequilibrio axial al azar de las fuerzas y un alto empuje. Pueden producirse fallos por vibración y rodamientos mecánicos.

**Insuficiente carga neta positiva de succión:** En algunos casos, el NPSH requerido por el impulsor puede aumentar para flujos bajos, con esto se genera ruido, picaduras en el impulsor y otros síntomas. Se debe revisar la curva de rendimiento del fabricante de la bomba para conocer recomendaciones de flujo mínimo o el NPSHR.

#### 3.6.8.1. Corrección por temperatura y elevación

El NPSHA es una función de la presión absoluta, tanto estática como dinámica y de la presión de vapor del líquido. En un sistema abierto la presión absoluta es a su vez una función de la presión atmosférica, el nivel de la superficie libre del agua, las pérdidas por fricción en la tubería de succión y la presión de vapor. La corrección de la elevación es de aproximadamente 1 m por 1 000 m de desnivel.

#### 3.6.8.2. Consideraciones para el NPSH marginal

El personal que seleccione la bomba debe considerar un NPSH marginal adecuado, además de la NPSHR especificado en el proyecto. Para proteger la bomba del daño causado por el flujo de recirculación y la cavitación, es recomendable tener un NPSH marginal operativo suficiente para todas las condiciones de flujo (flujo continuo estable de mínimo a máximo del flujo operativo esperado). Se deberá consultar con el fabricante sobre los valores de NPSH marginal recomendados para el tipo de bomba específica y el servicio previsto. Al establecer NPSHA, el comprador y el vendedor deben reconocer la relación entre el flujo estable continuo mínimo y la velocidad específica de succión de la bomba.

#### 3.6.8.3. Rendimiento de la succión

El aumento de velocidades en la bomba, sin condiciones de succión adecuadas puede resultar en un desgaste anormal y una posible falla por vibraciones excesivas, ruido y daños por cavitación.

#### 3.6.8.4. Puesta en marcha

Al seleccionar un equipo, se debe tener en cuenta que para algunas configuraciones de bombas centrífugas rotodinámicas, tal como rodamientos de varias etapas y con algunos sistemas de lubricación de rodamientos, como anillo de lubricación de aceite, es posible que el funcionamiento a una velocidad inferior a la mínima

permitida por el fabricante podría causar graves daños. Se debe investigar a fondo la idoneidad de la bomba para el funcionamiento a bajas velocidades antes de seleccionarla.

En la selección del equipo, se debe tener en cuenta las condiciones de diseño del sistema de puesta en marcha. Esta especifica el tiempo necesario para acelerar la bomba hasta su velocidad nominal. Normalmente, la bomba debe ser arrancarse y llevarse a la velocidad de operación (entre 3 a 5 segundos). En el caso que se requiera más tiempo o una operación de baja velocidad de la bomba, debe consultarse con el fabricante para establecer la selección adecuada, además se debe considerar la resonancia y velocidades críticas que pueden causar alta vibración, tanto en la bomba y estructuras de montaje.

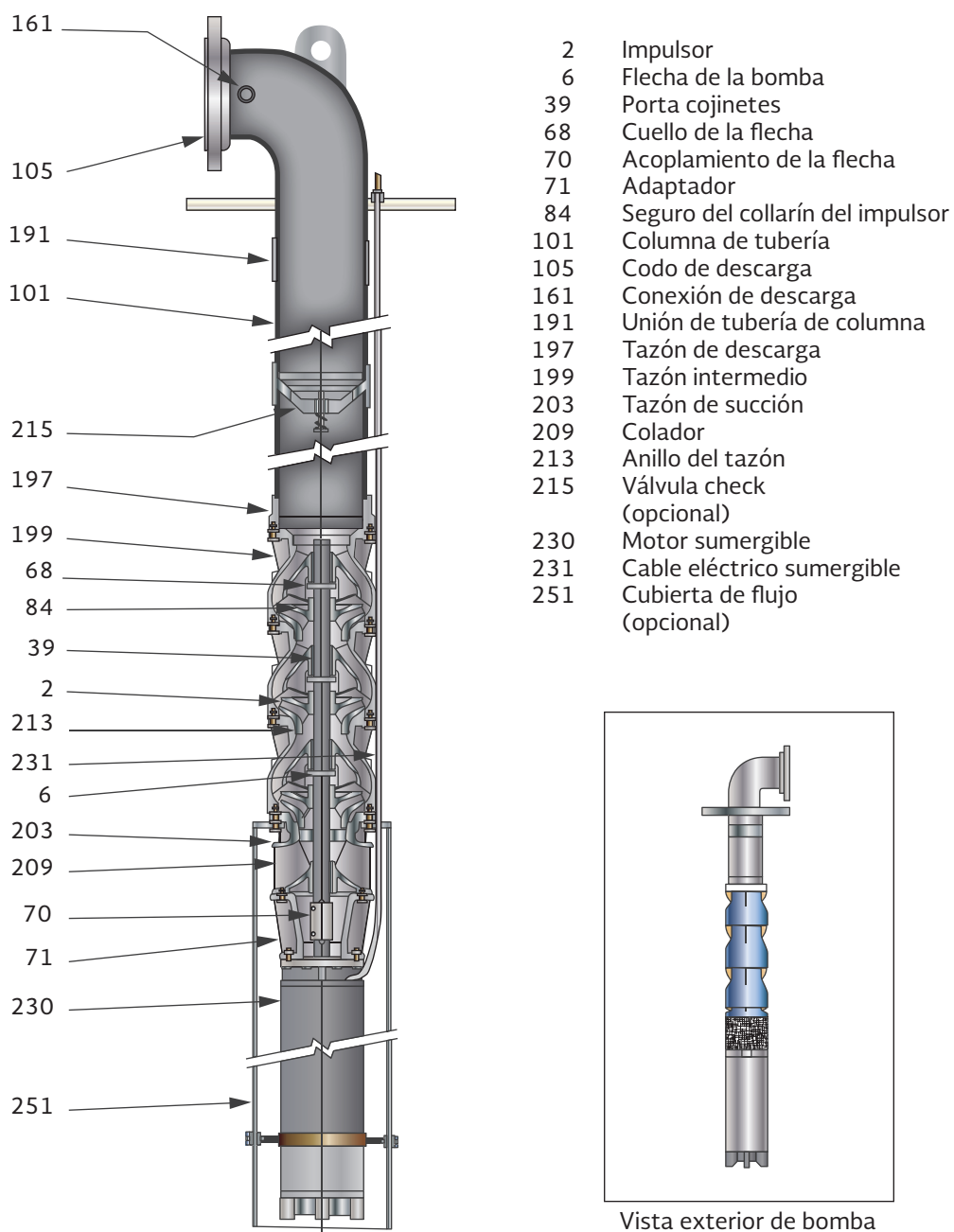
#### 3.6.8.5. Apagado

Durante el proceso de apagado de un equipo se deben evitar los transitorios hidráulicos (ver apartado 3.6.3).

No se recomienda la operación en condiciones de cierre (con la válvula de descarga cerrada) durante períodos prolongados de tiempo. Esto induce un mayor empuje radial en muchas bombas y calienta el líquido en la bomba. Para evitar esta situación se puede considerar una tubería de recirculación (de nuevo a la fuente de succión) o la utilización de un controlador de velocidad variable, esto permitirá aumentar la vida útil de la bomba, siempre respetando las recomendaciones del fabricante.

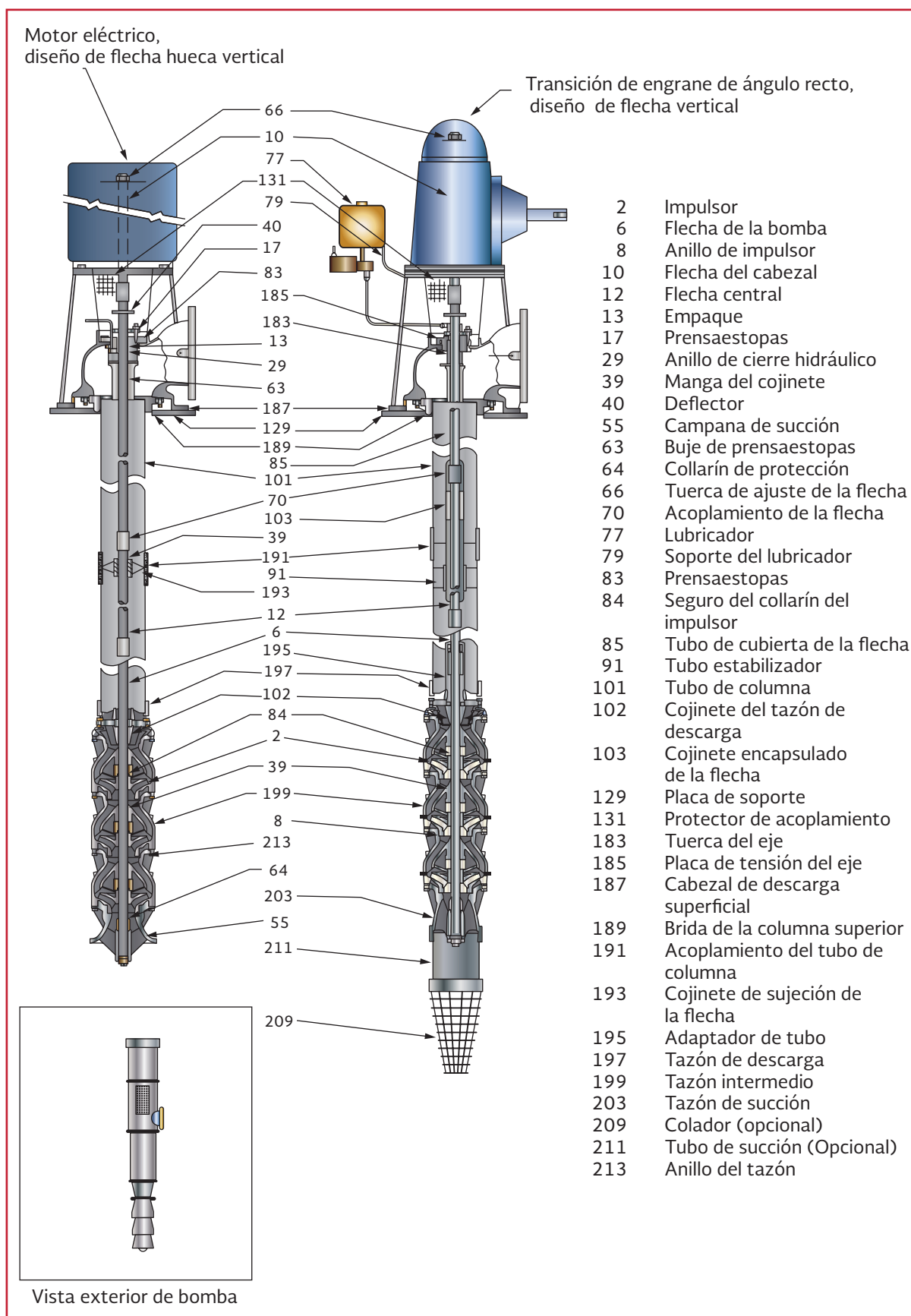


Ilustración 3.19 Bomba sumergible de pozo profundo (VSO)



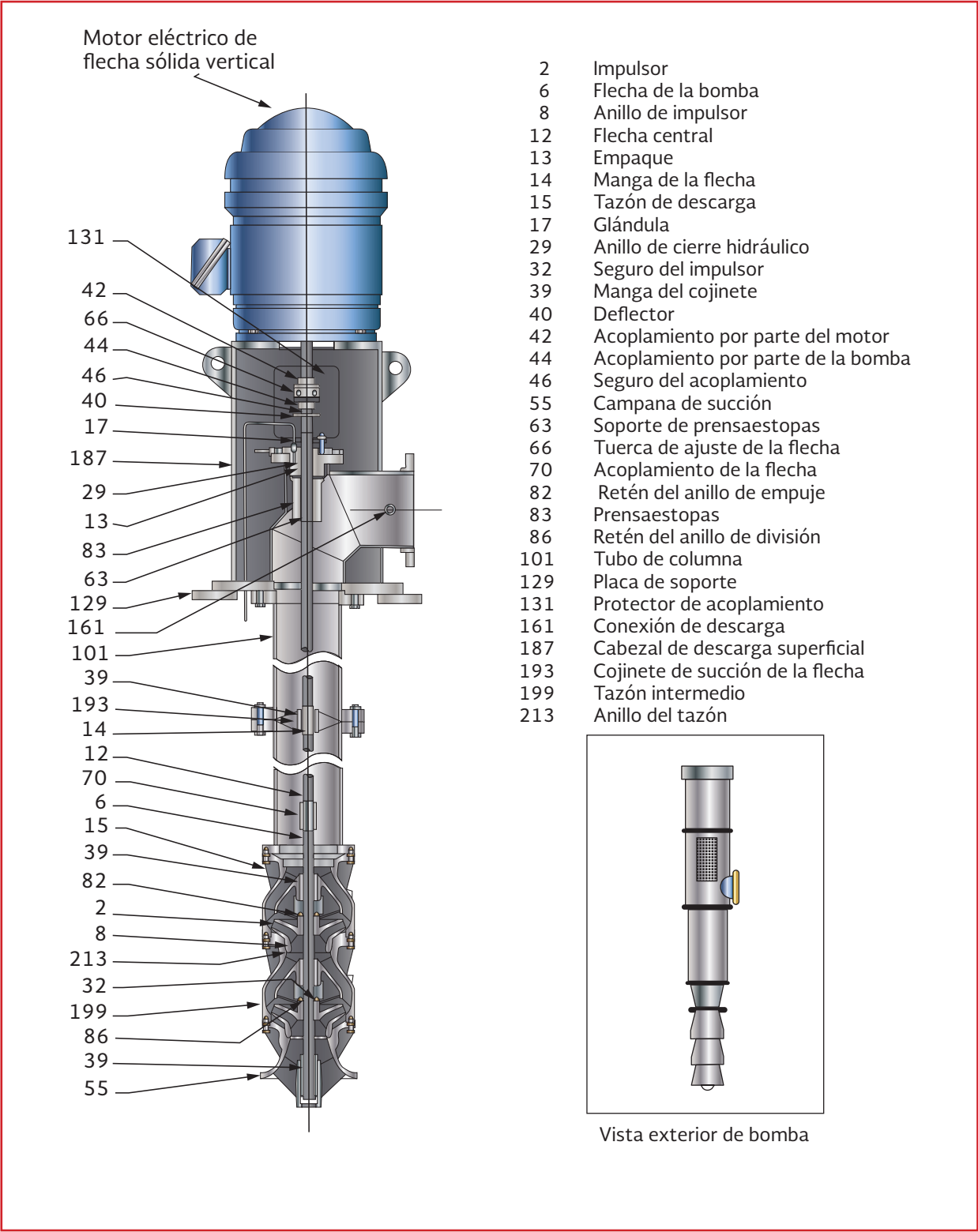
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.20 Bomba vertical de pozo profundo (VS1)



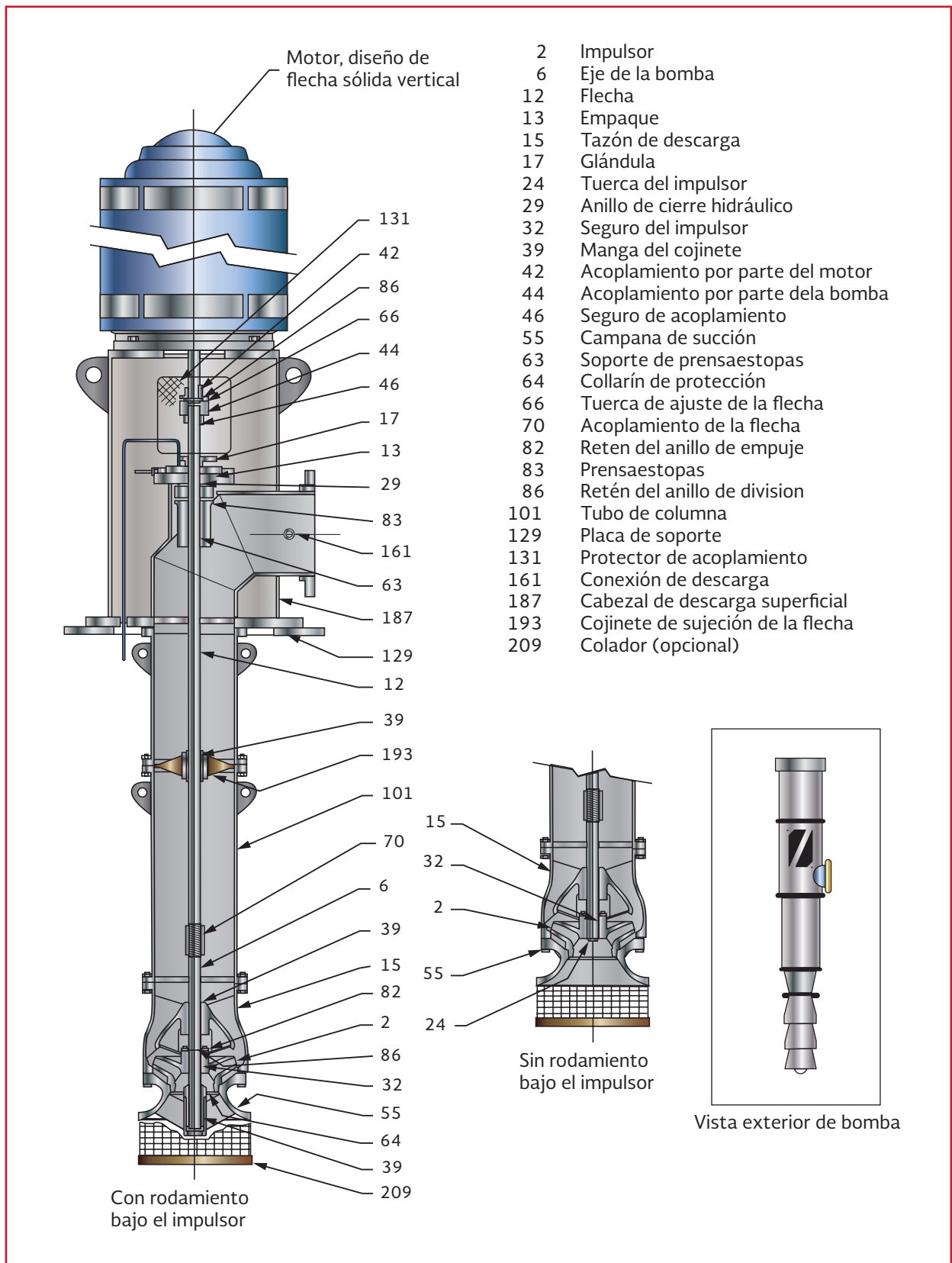
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.21 Bomba vertical de una sola etapa o multietapa, conjunto corto de flecha de línea abierta (VS1)



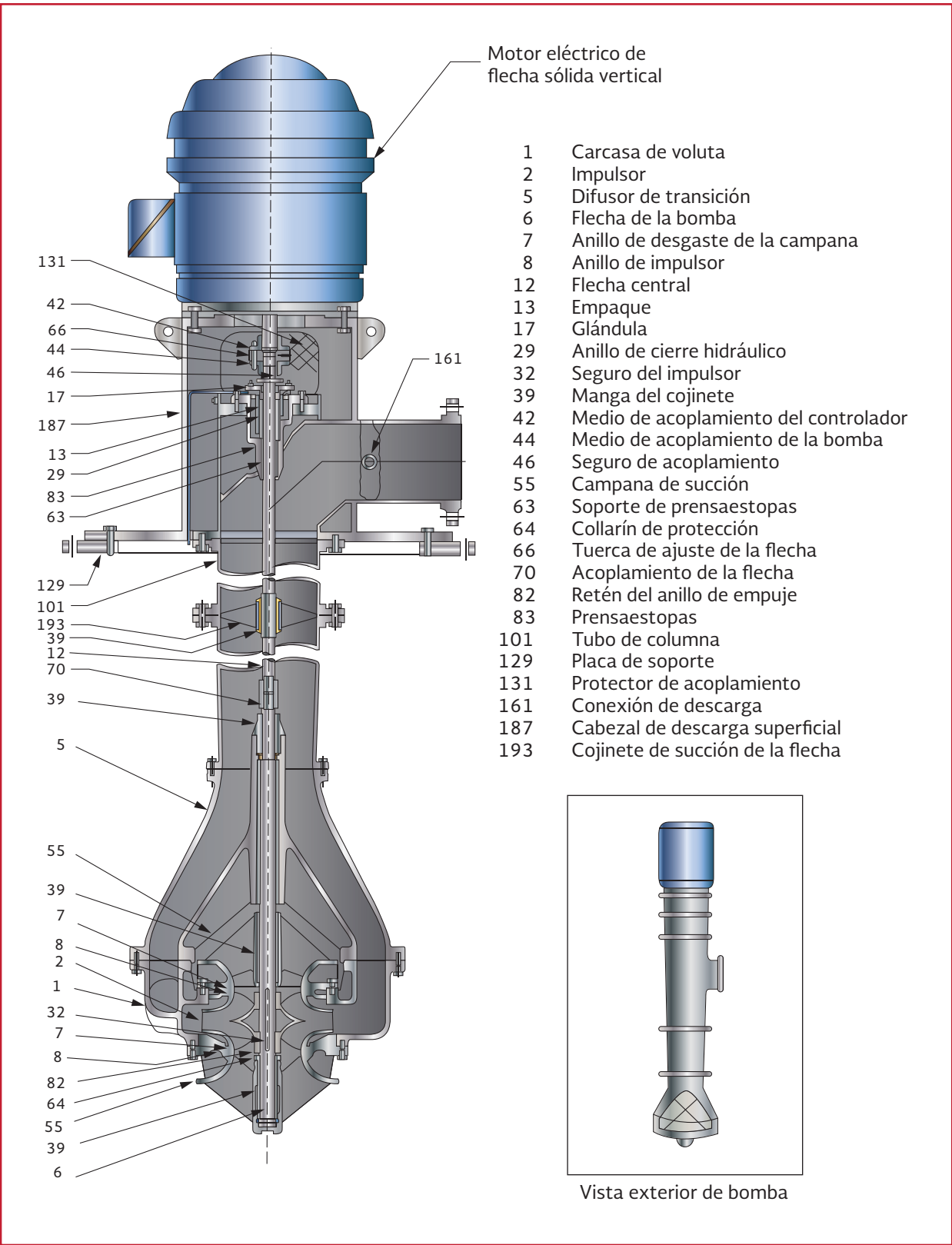
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.22 Bomba vertical de flujo mixto de flecha de línea abierta (VS1)



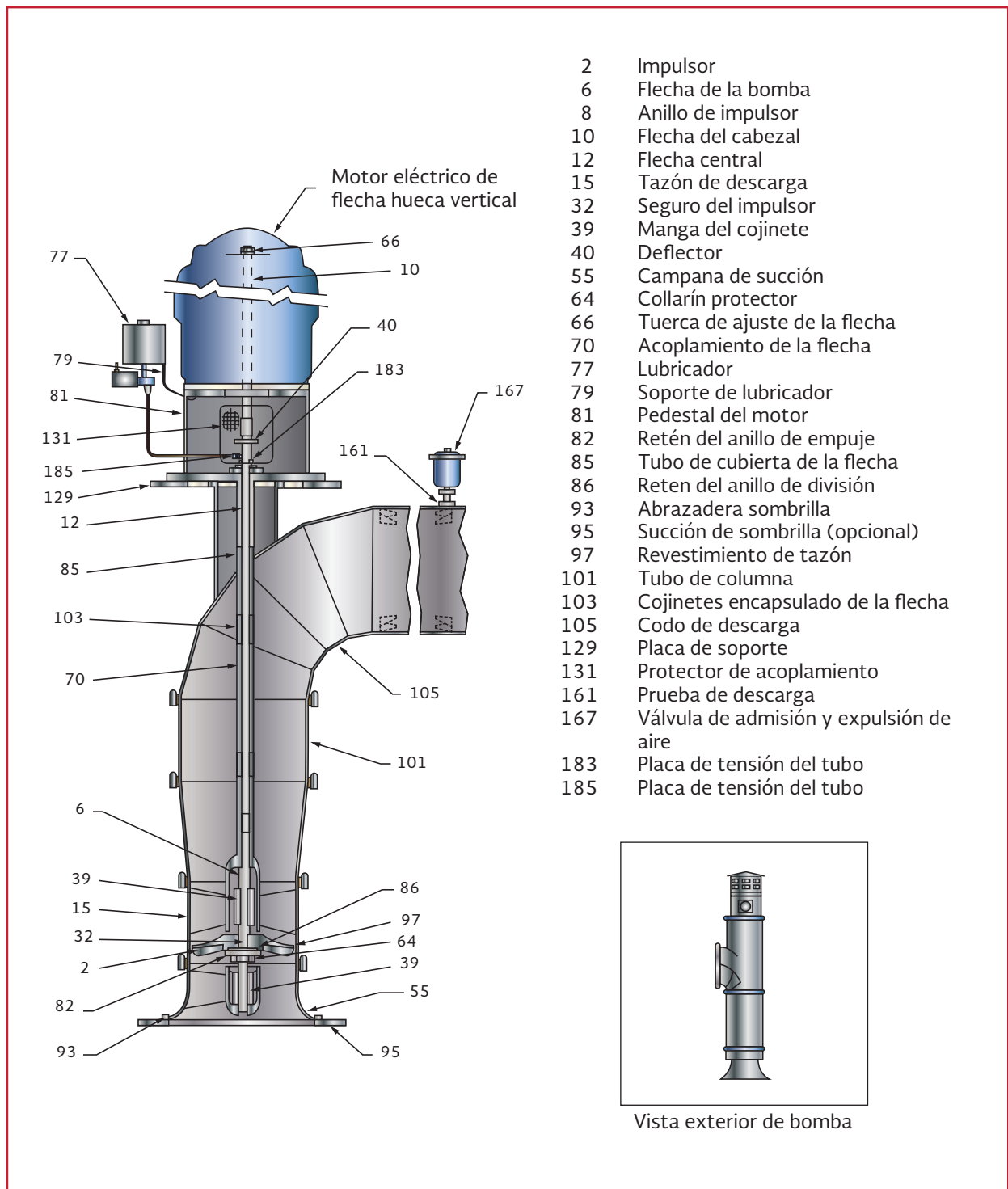
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.23 Bomba vertical de doble succión tamaño corto de flecha abierta (VS2)



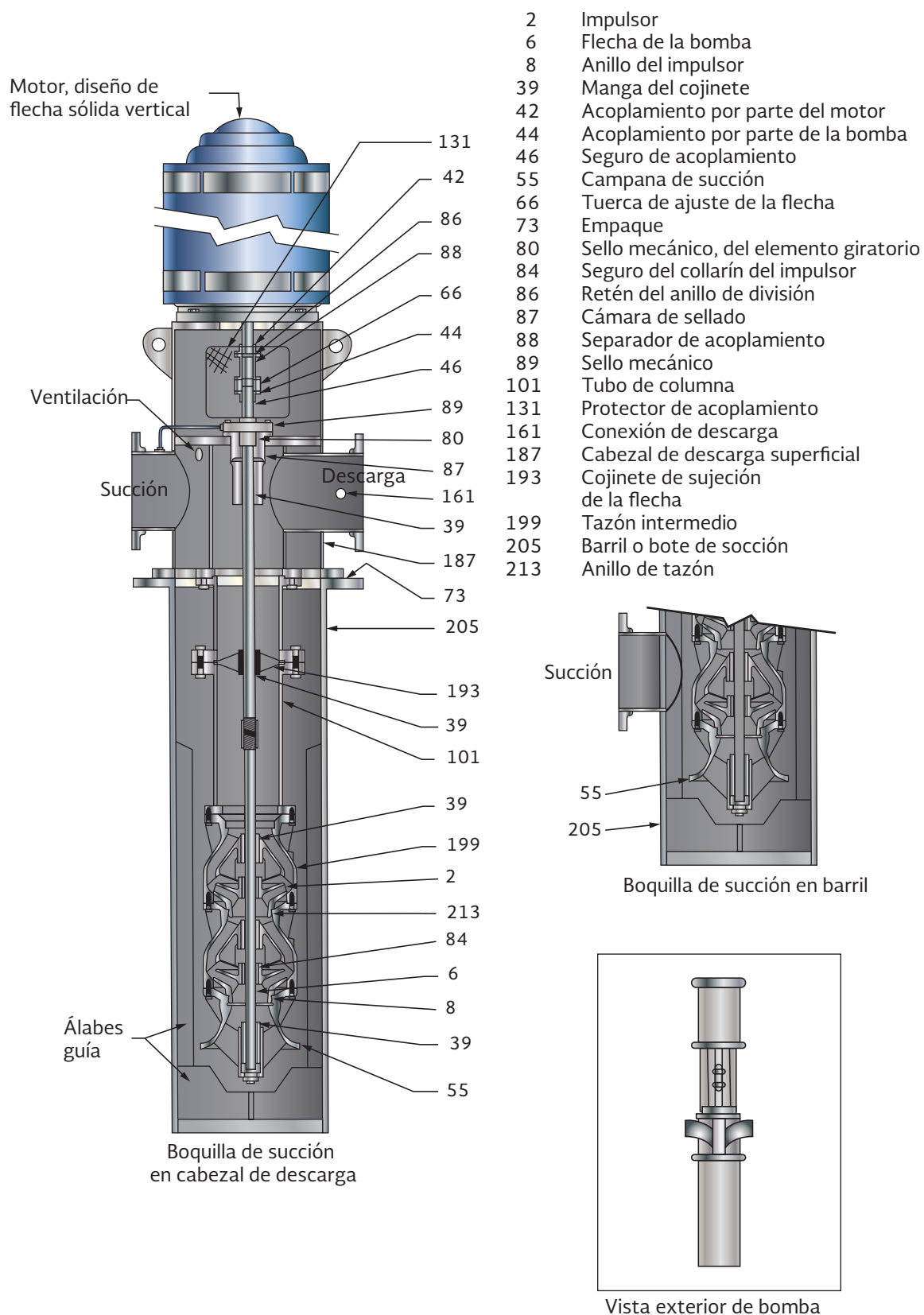
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.24 Bomba vertical con impulsor de flujo axial (propela), flecha cubierta, configuración de descarga debajo de piso (VS3)



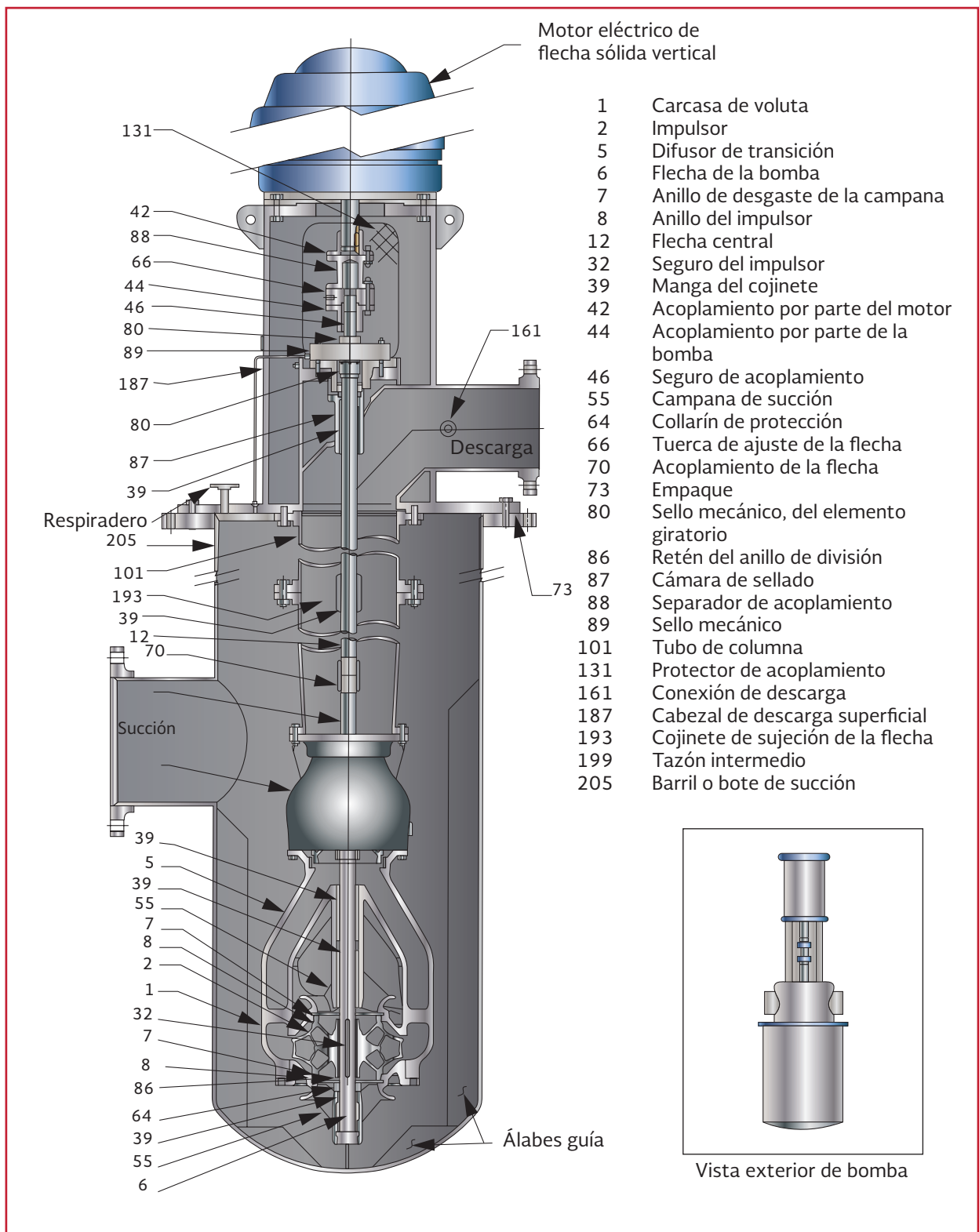
Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.25 Bombas verticales de una etapa o multietapas de difusor tipo bote o barril (VS6)



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.26 Bomba doble succión de una etapa o multietapas tipo barril (VS7)

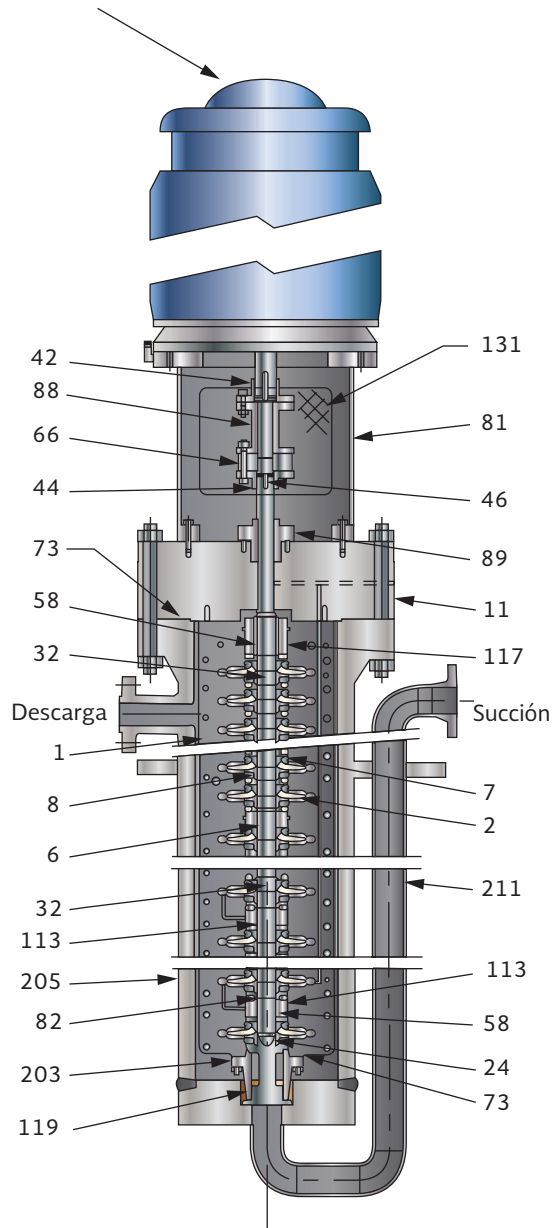


Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

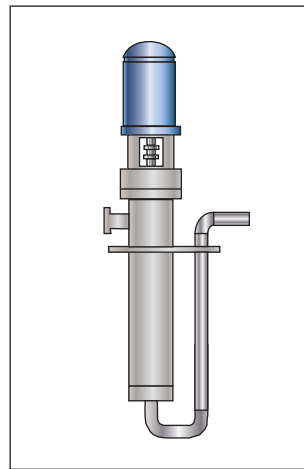


Ilustración 3.27 Bomba vertical de multietapas de voluta o espiral (doble carcasa) tipo barril (VS7a)

Motor eléctrico de  
flecha sólida vertical



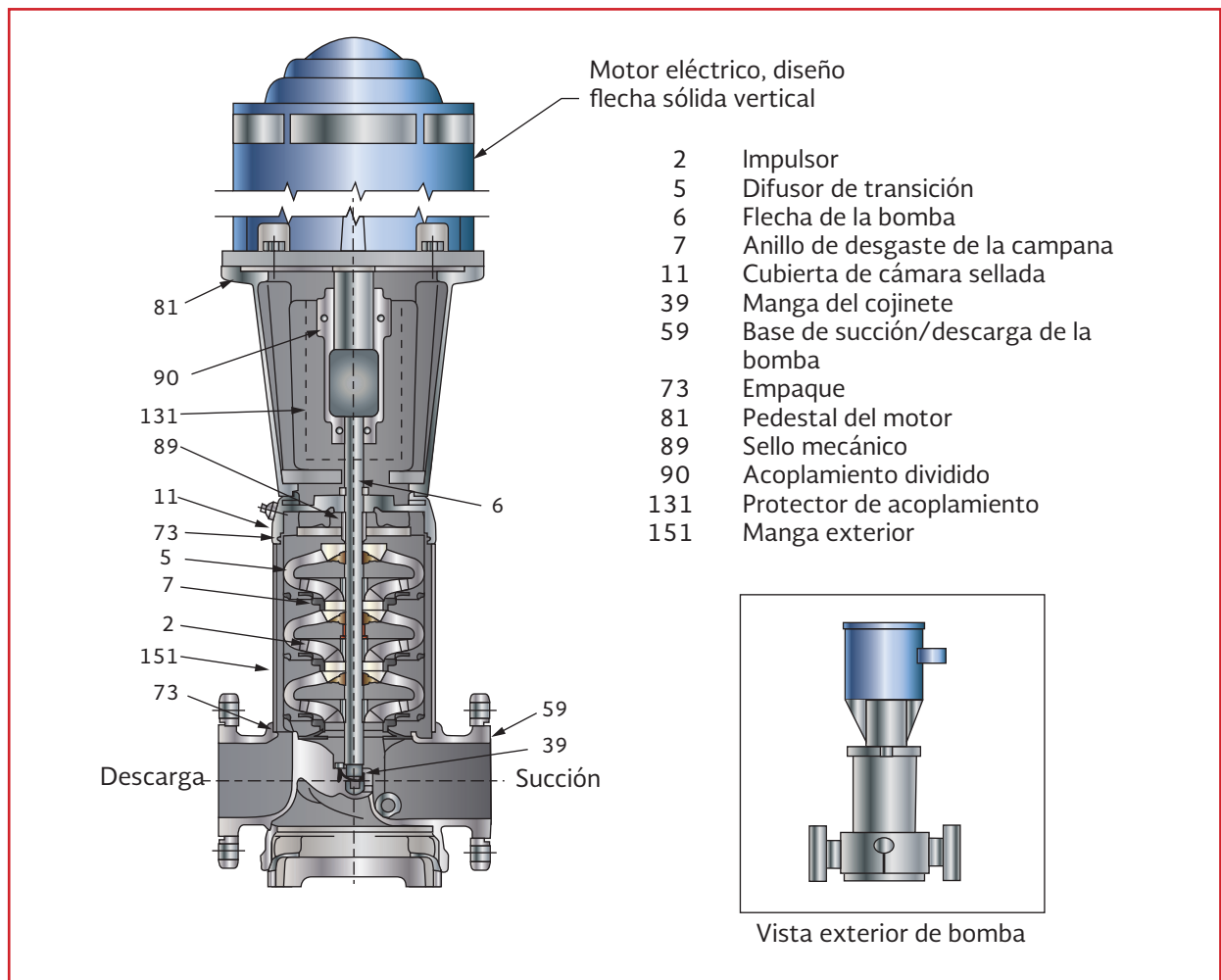
- 1 Carcasa de voluta
- 2 Impulsor
- 6 Flecha de la bomba
- 7 Anillo de desgaste de la campana
- 8 Anillo del impulsor
- 11 Cubierta de la cámara sellada
- 24 Tuerca del impulsor
- 32 Seguro del impulsor
- 42 Medio de acoplamiento del motor
- 44 Medio de acoplamiento de la bomba
- 46 Llave de acoplamiento
- 58 Manga entre etapas
- 66 Tuerca de ajuste de la flecha
- 73 Empaque
- 81 Pedestal del motor
- 82 Retén del anillo de empuje
- 88 Separador de acoplamiento
- 89 Sello mecánico
- 113 Casquillo entre etapas
- 203 Carcasa de succión
- 205 Barril
- 117 Buje reductor de presión
- 119 Anillo
- 131 Protector de acoplamiento
- 205 Barril o bote de succión
- 211 Tubería de succión



Vista exterior de bomba

Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.28 Bomba vertical de difusor de carcasa en línea (VS8)



Fuente: ANSI/HI 2.1-2.2

Ilustración 3.29 Impulsor suspendido - Acople flexible - Montada sobre marco - Etapa simple (OH0)

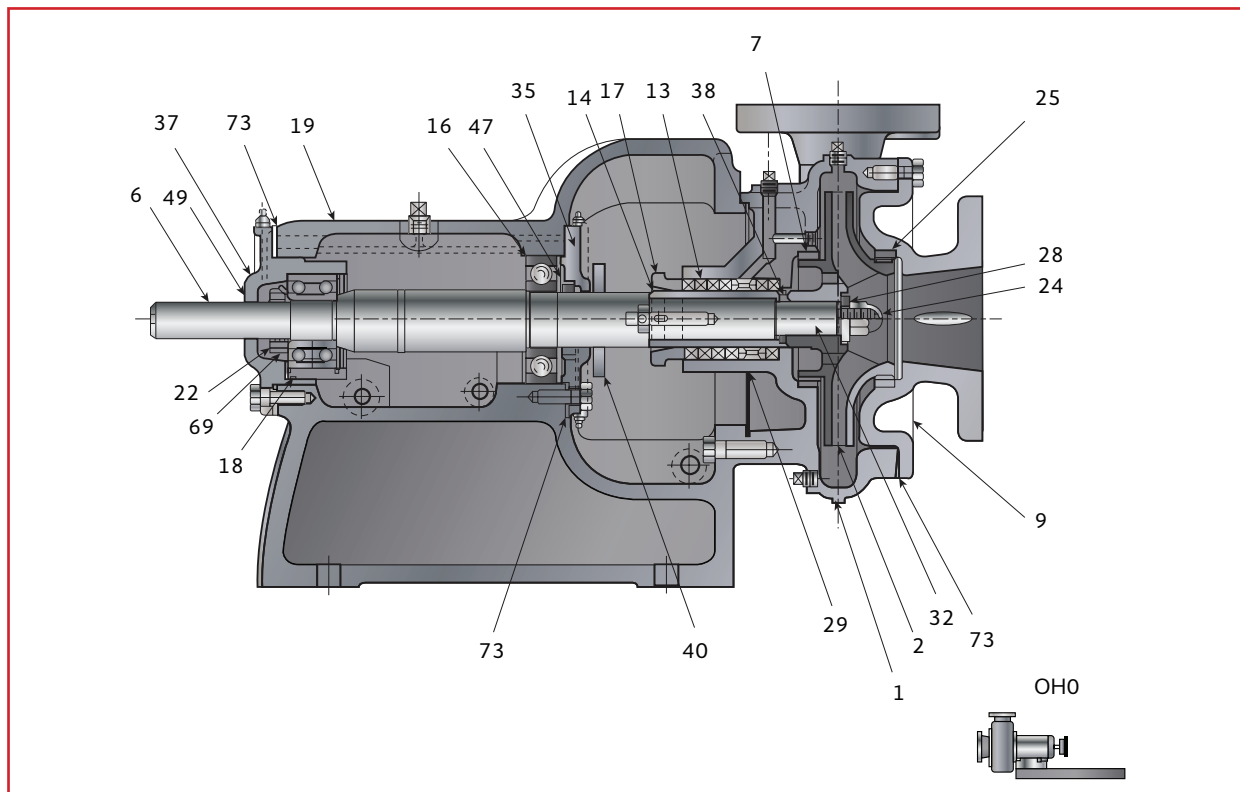
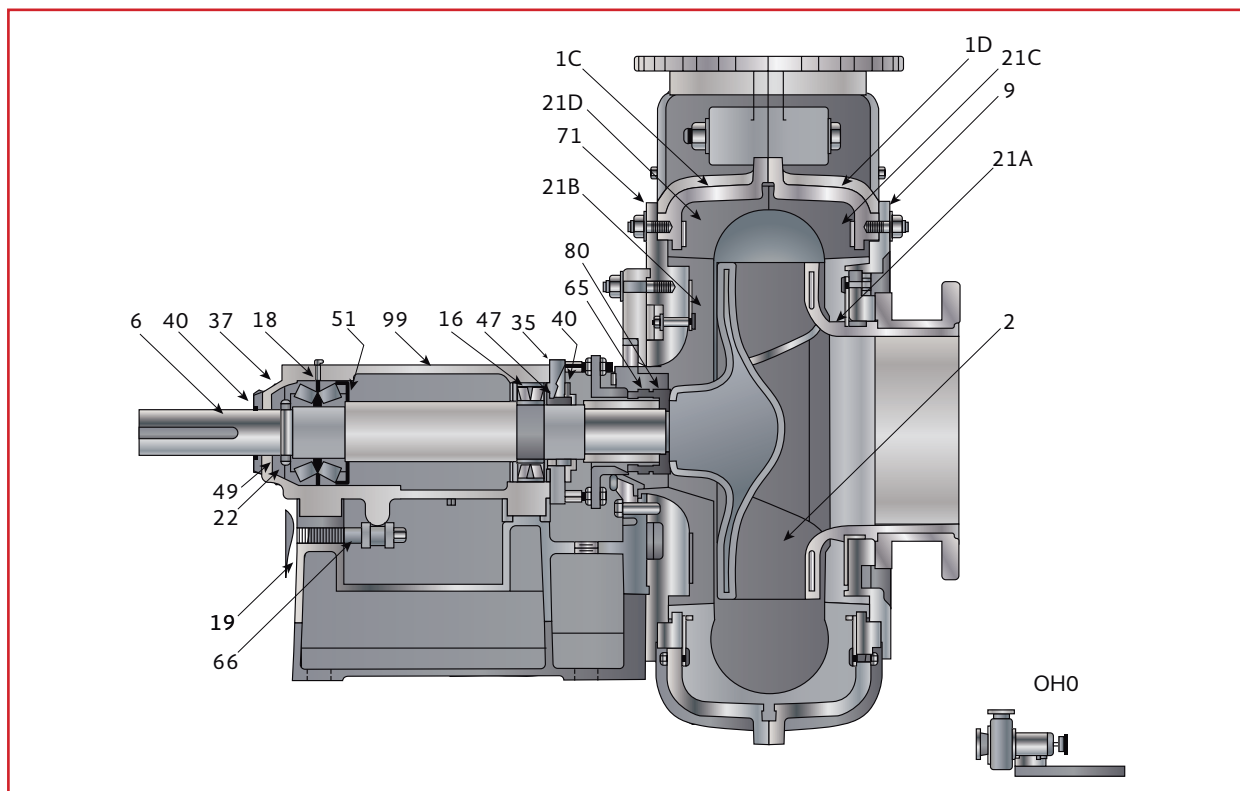


Ilustración 3.30 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre marco - Etapa simple - Bomba alineada (OH0)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.31 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base- Etapa simple (OH1)

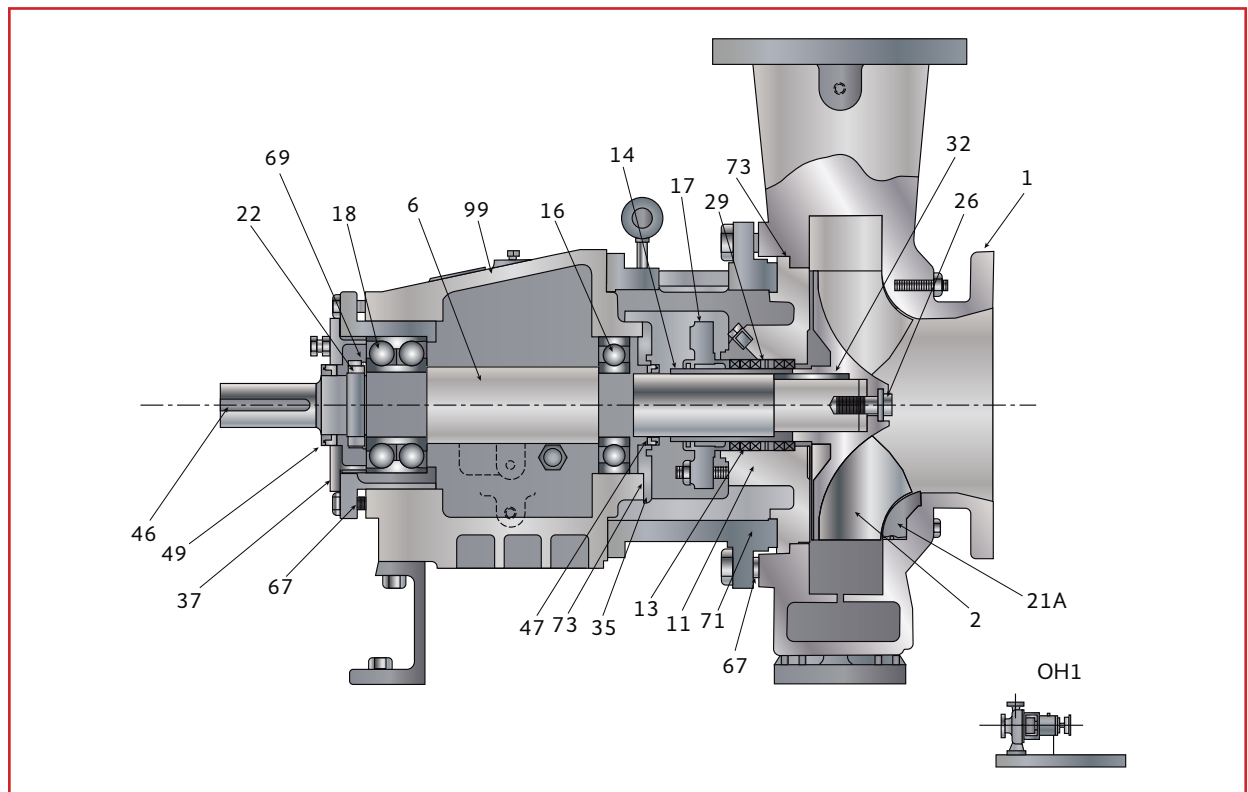
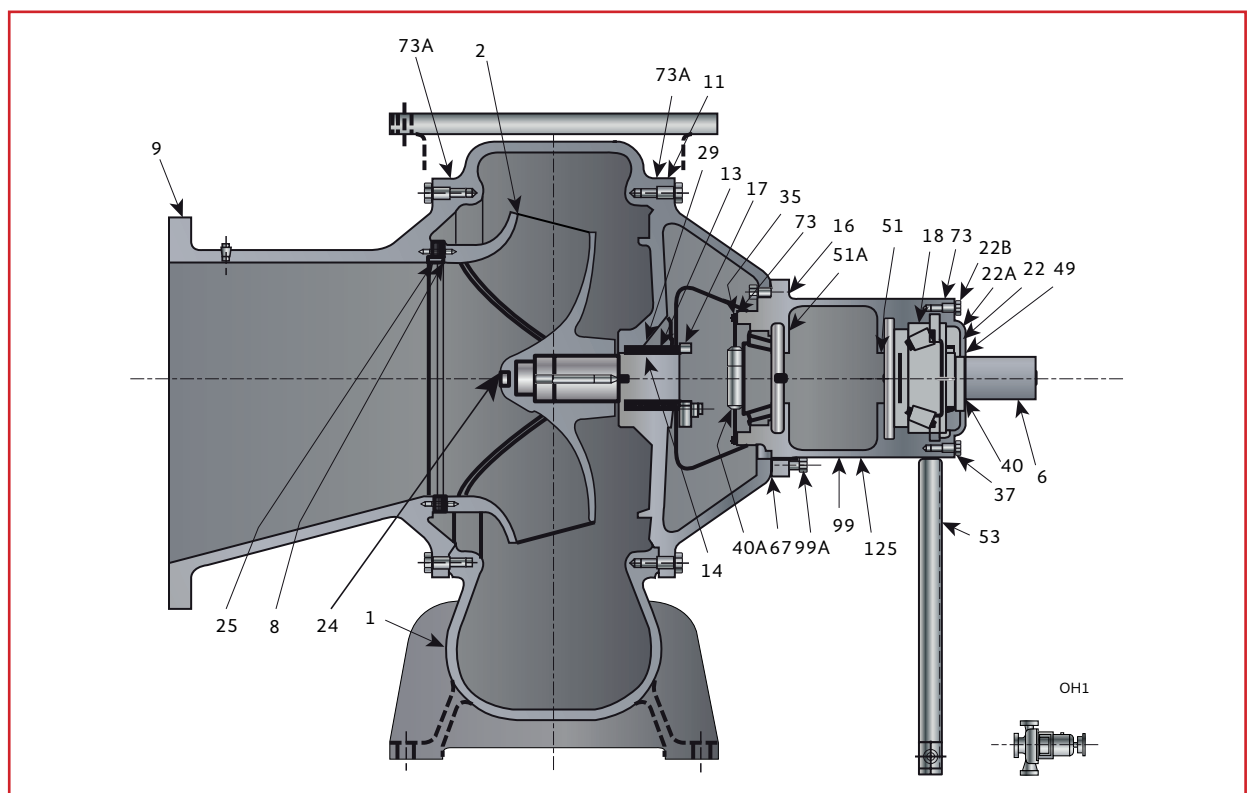


Ilustración 3.32 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base- Etapa simple (OH1)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.33 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base- Etapa simple - ASME B73.1 (OH1)

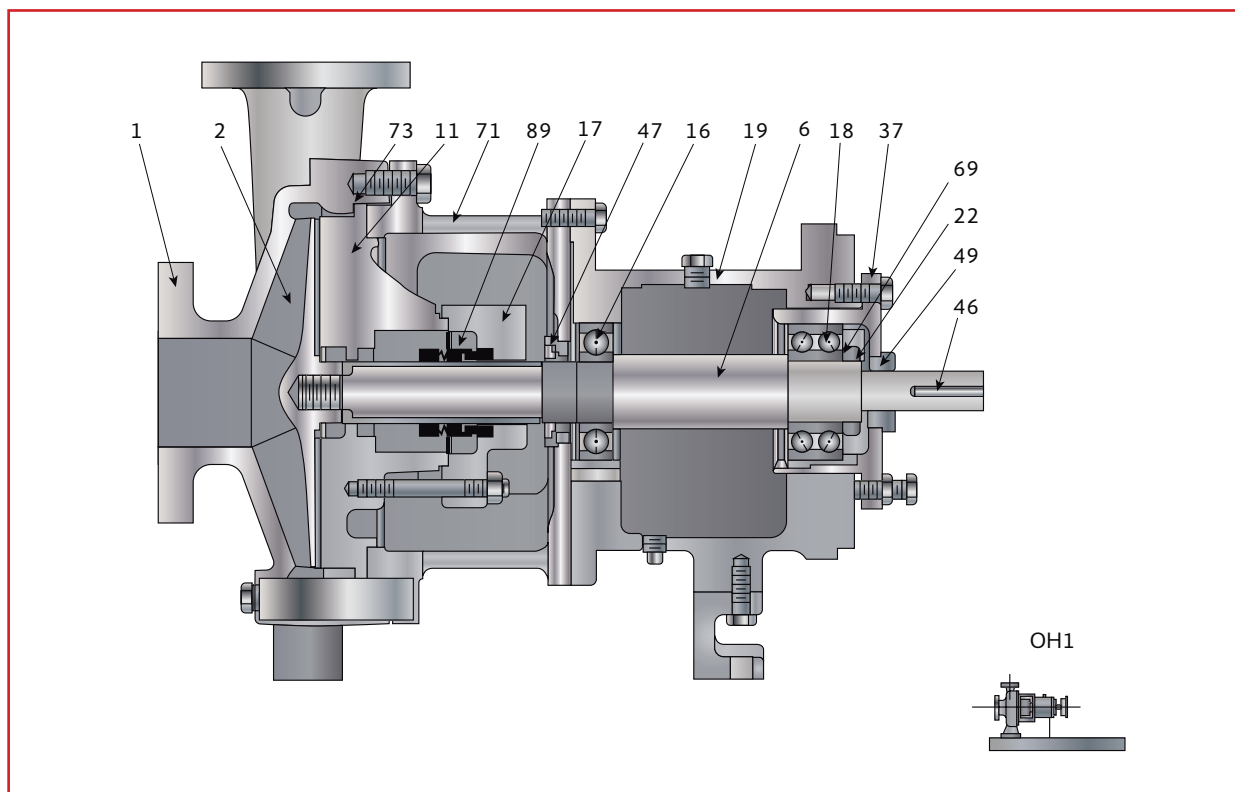
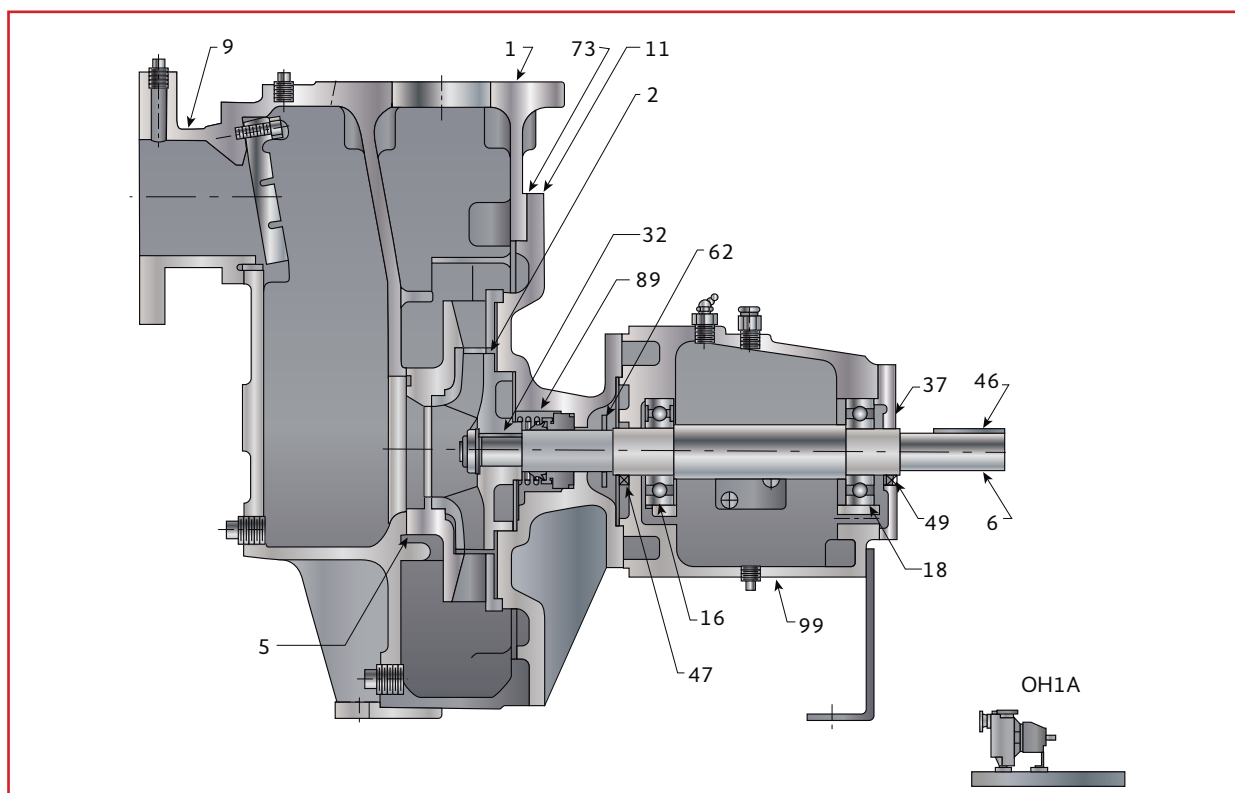


Ilustración 3.34 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base- autocebante - Etapa simple (OH1A)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.35 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre pedestal- Etapa simple - API 610 (OH2)

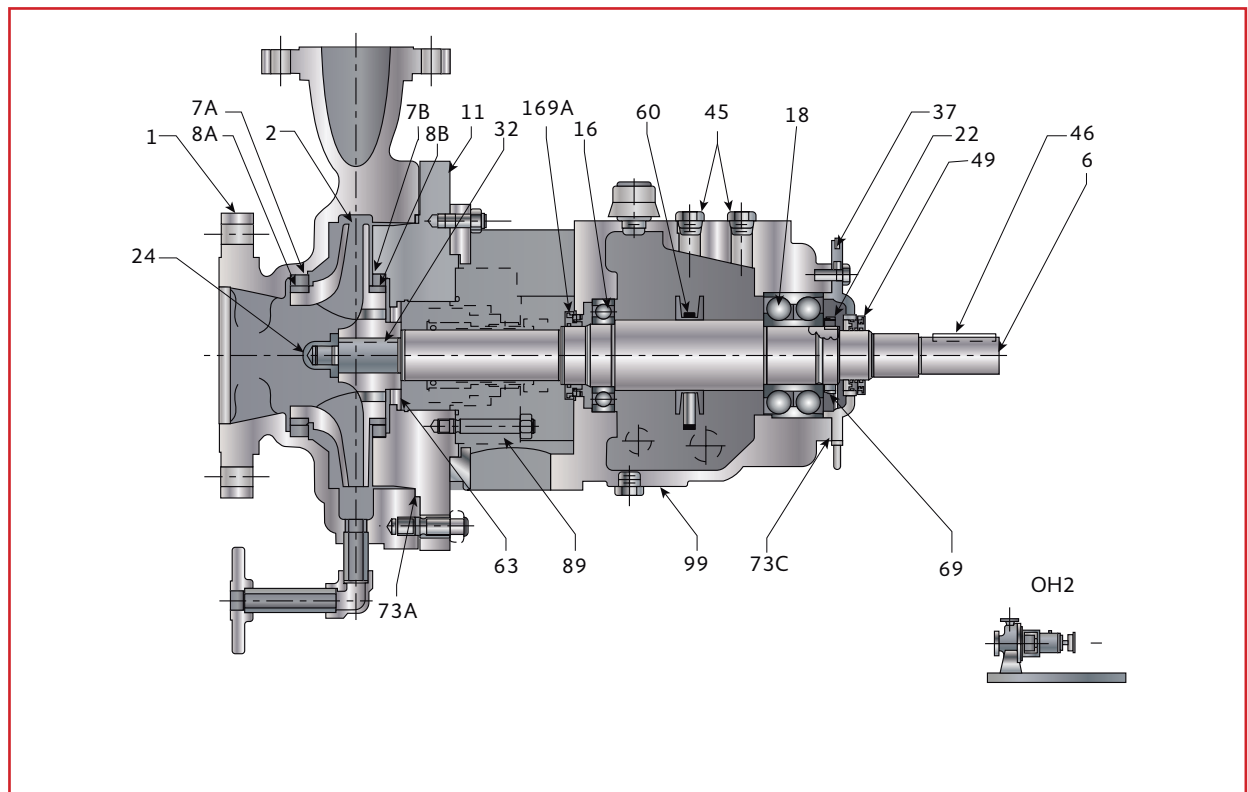


Ilustración 3.36 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - en línea - Etapa simple (OH3)

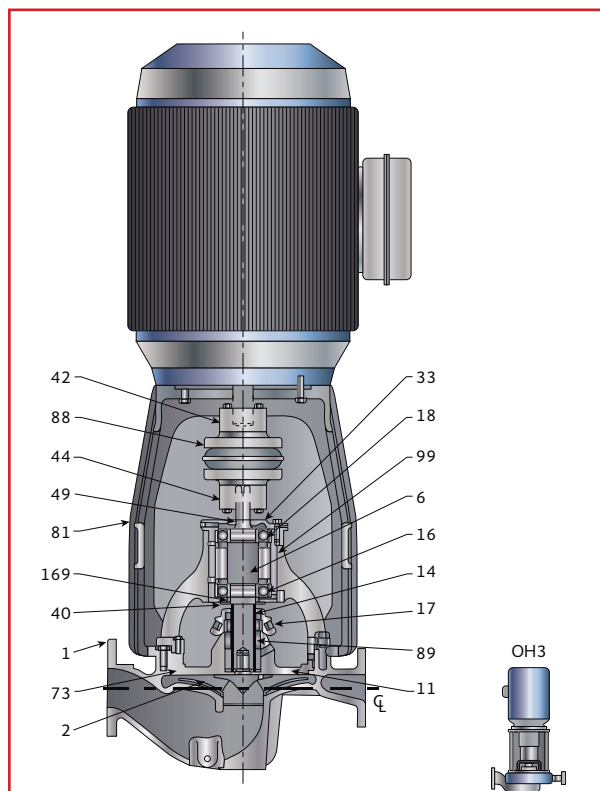
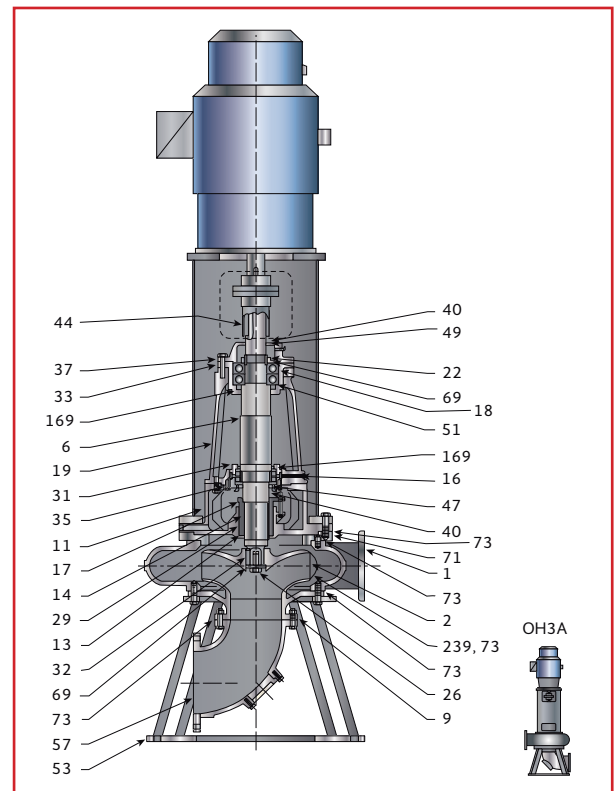


Ilustración 3.37 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - succión inferior - Etapa simple (OH3A)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.38 Impulsor suspendido - Acople rígido - Vertical - en línea - Etapa simple (OH4)

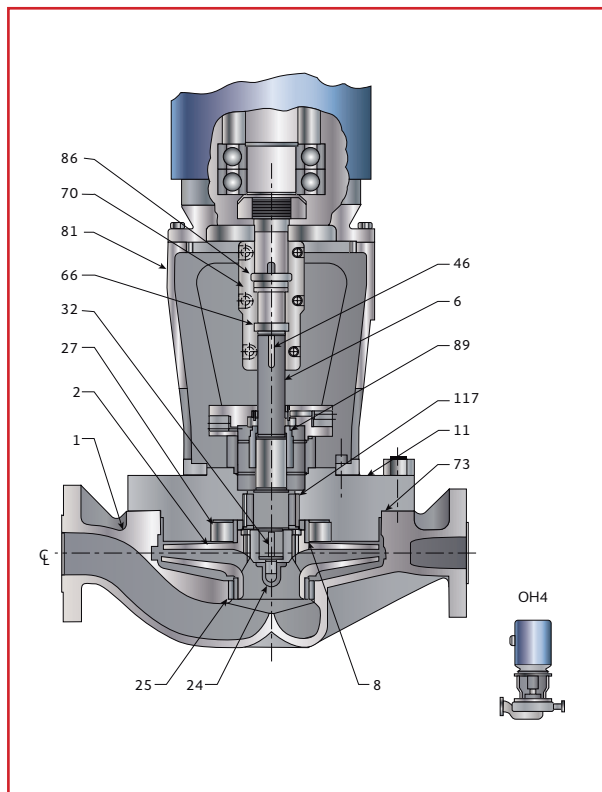


Ilustración 3.39 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - en línea - Etapa simple (se muestra sello y enclaustramiento) (OH5)

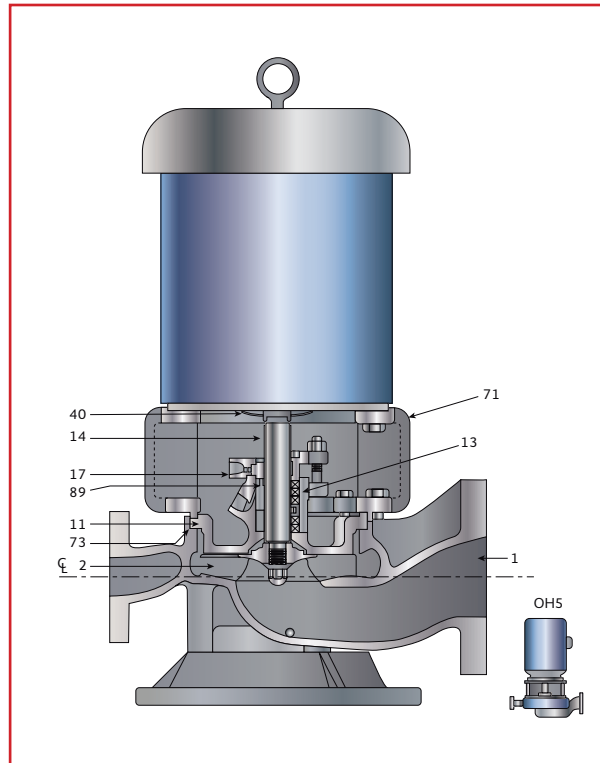


Ilustración 3.40 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Succión inferior - Etapa simple - Montaje vertical (OH5A)

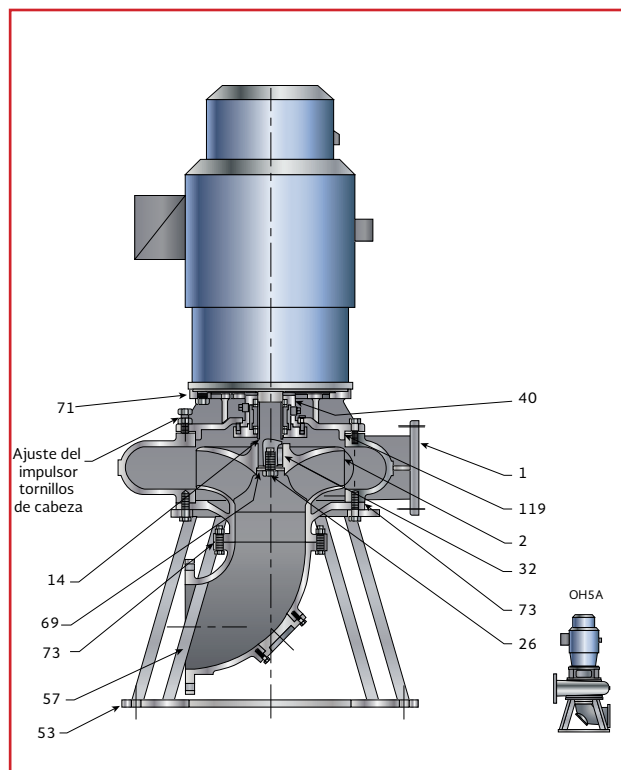
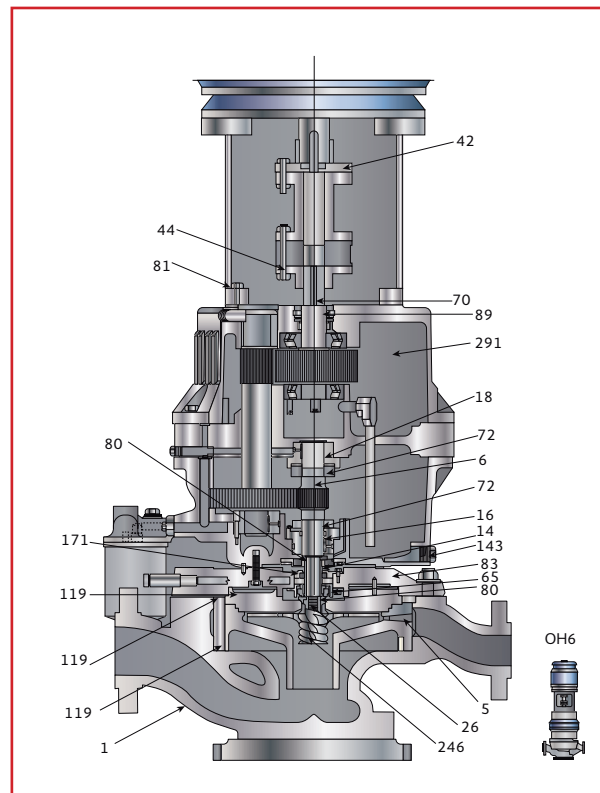


Ilustración 3.41 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Alta velocidad - Etapa simple (OH6)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.42 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Horizontal - Succión inferior - Etapa simple (OH7)

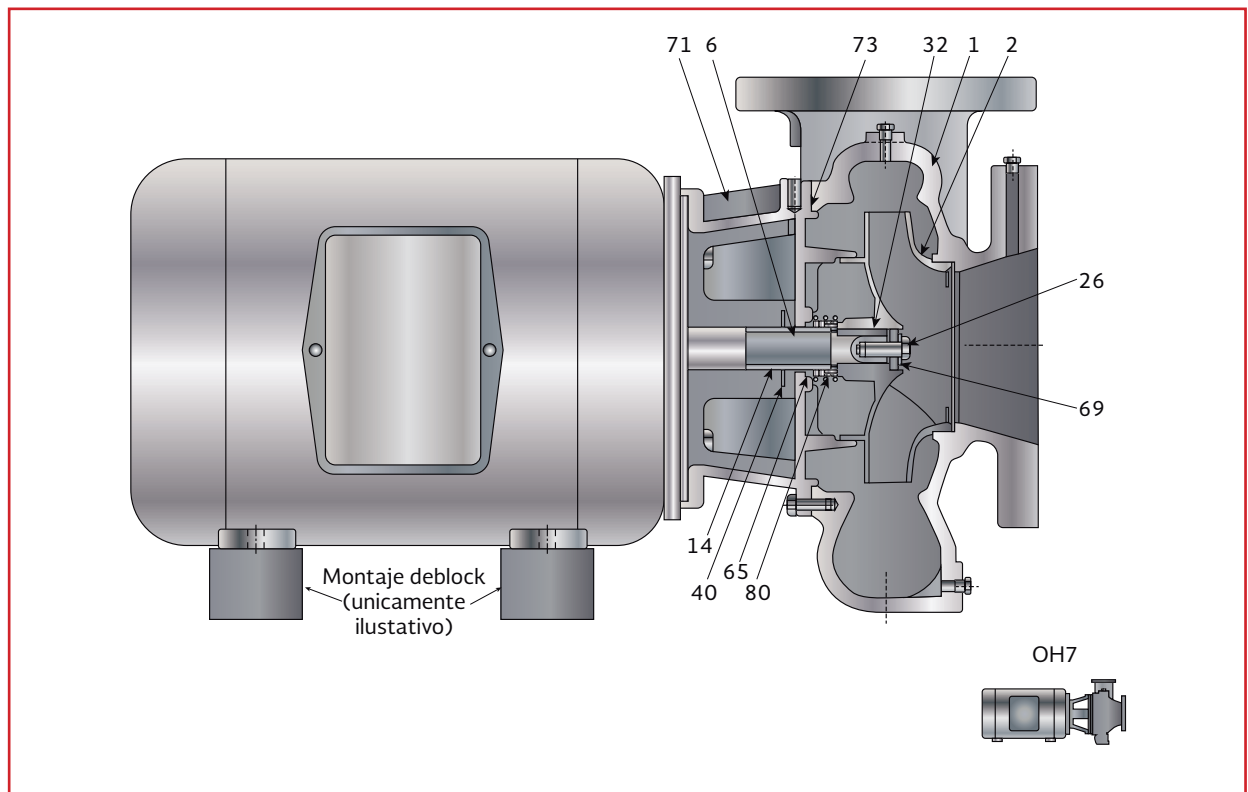


Ilustración 3.43 Impulsor suspendido - Acople cerrado - sumergible - Difusor - Succión inferior - Etapa simple (OH8A)

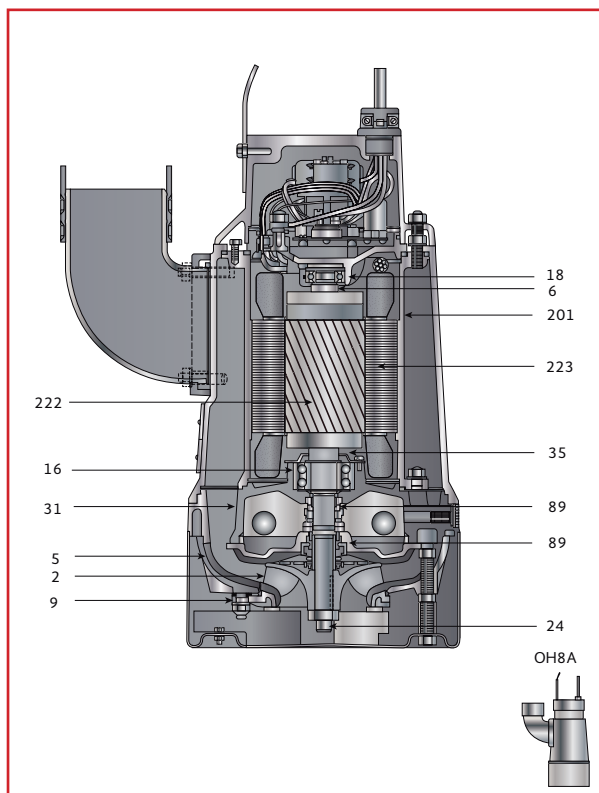
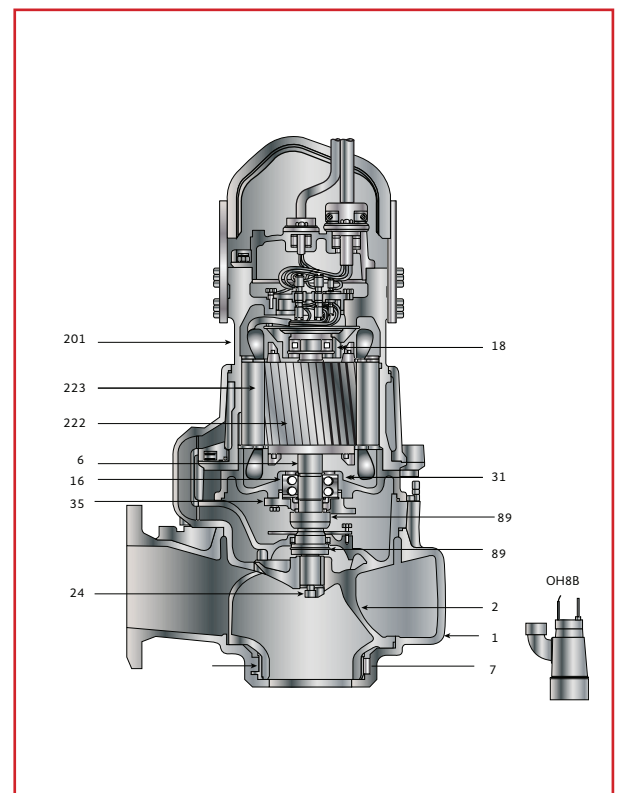


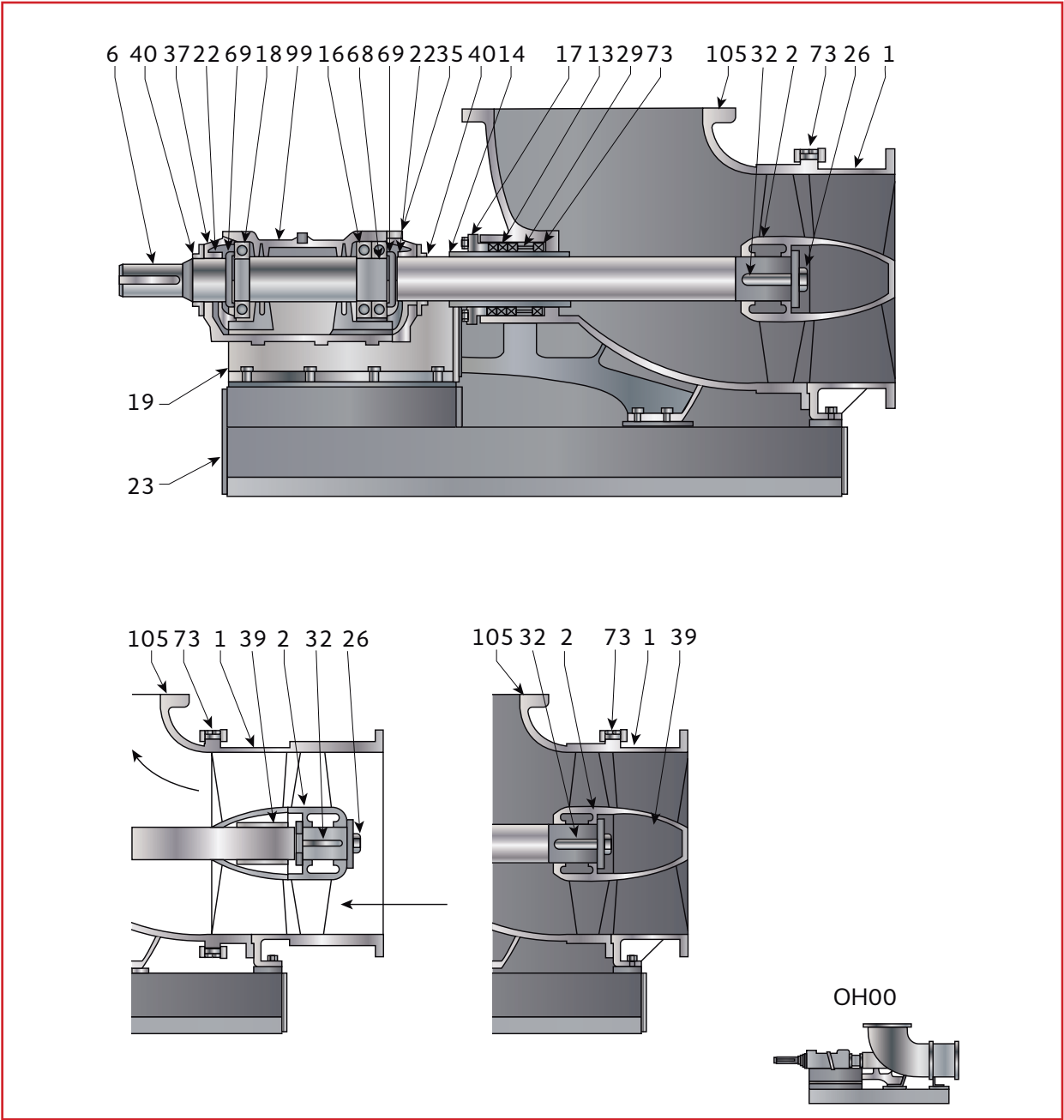
Ilustración 3.44 Impulsor suspendido - Acople cerrado - sumergible - Voluta - Succión inferior - Etapa simple (OH8B)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2



Ilustración 3.45 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal -Flujo axial - Etapa simple (OH00)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.46 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Axial (BB1)

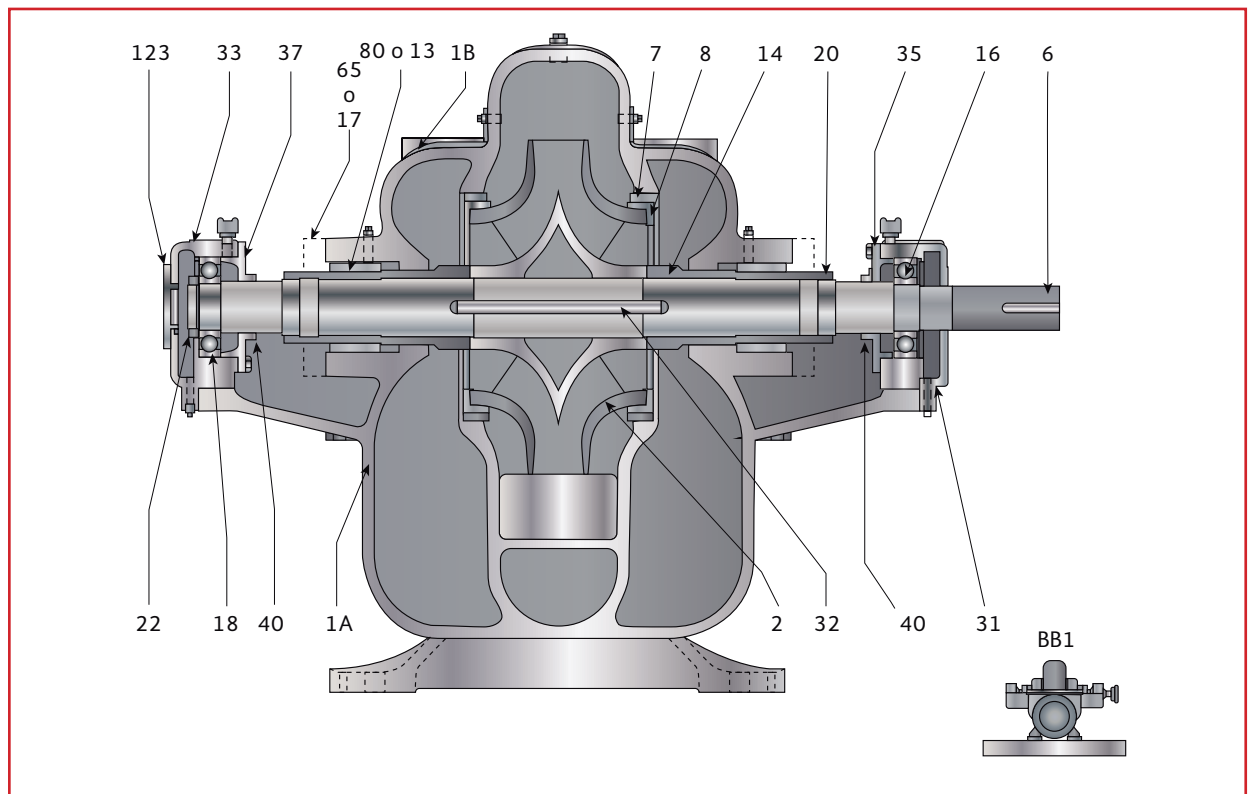
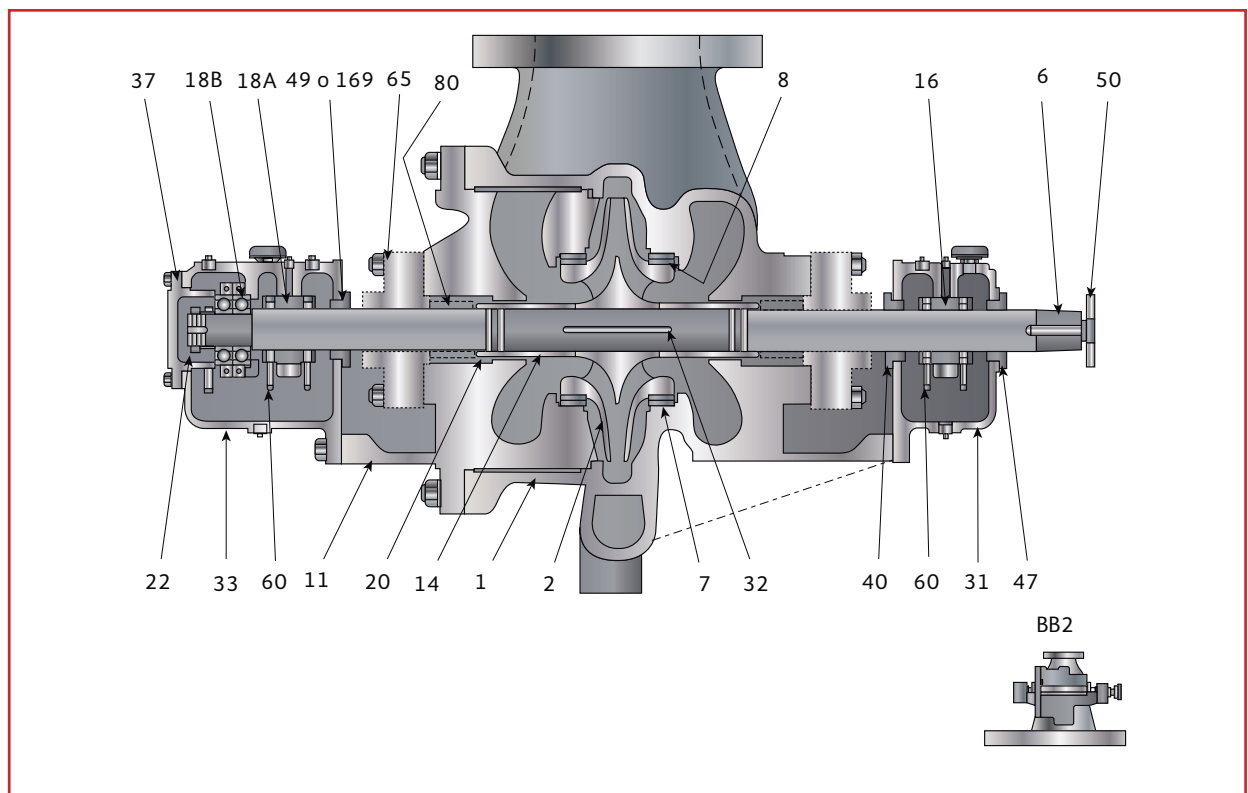


Ilustración 3.47 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Radial (BB2)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.48 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Axial (BB3)

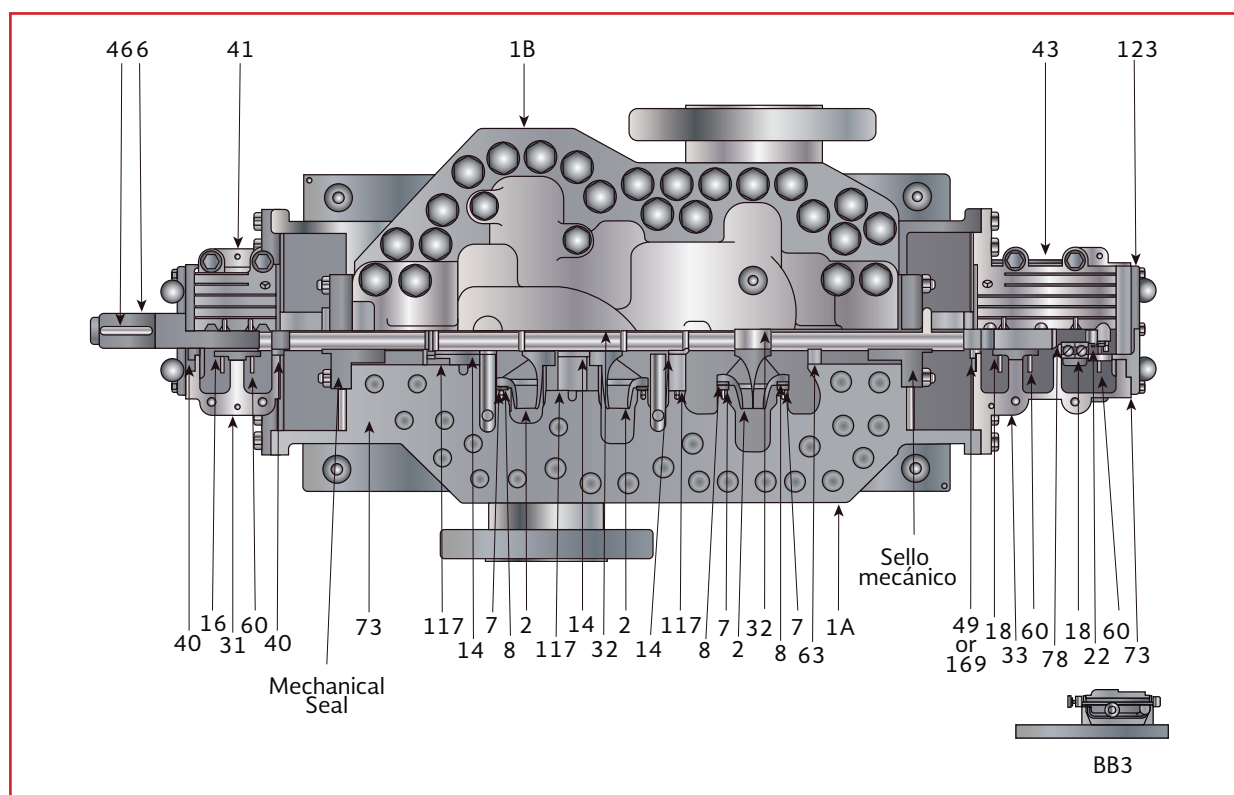
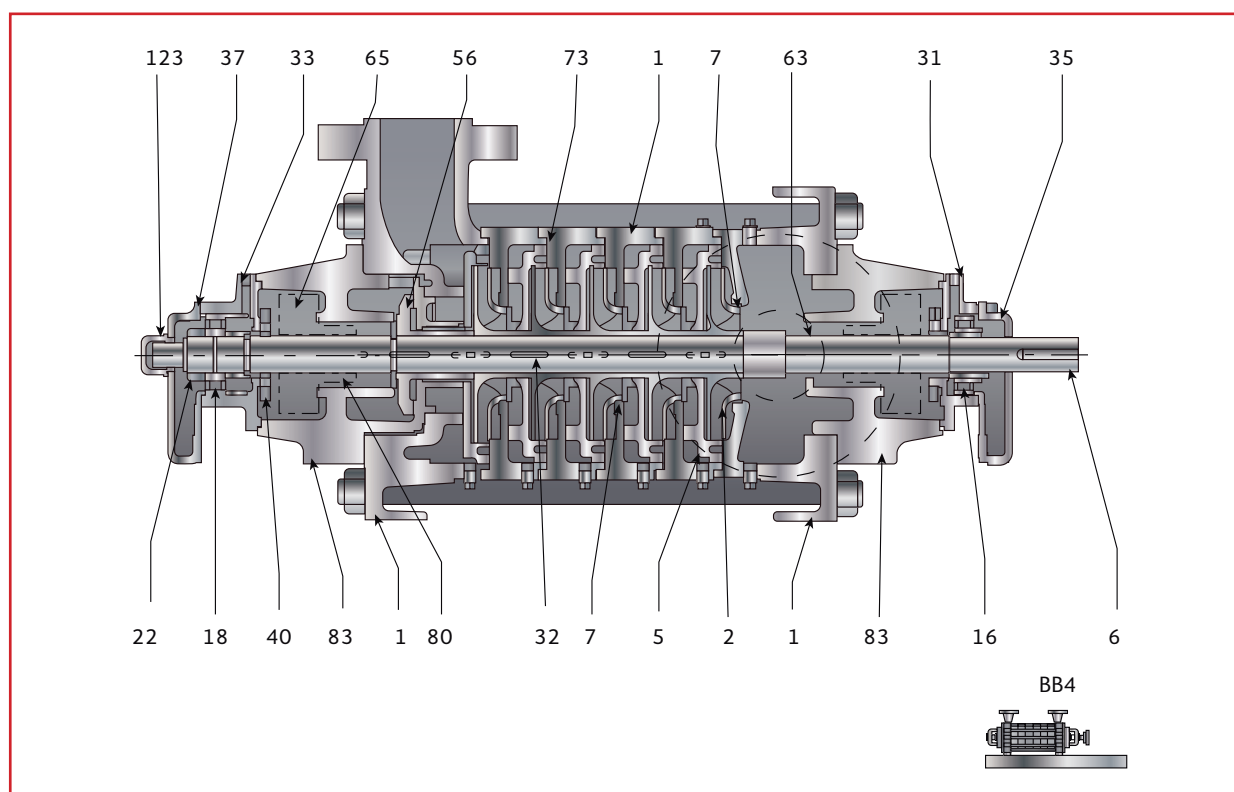


Ilustración 3.49 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa simple (BB4)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.50 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa doble (BB5)

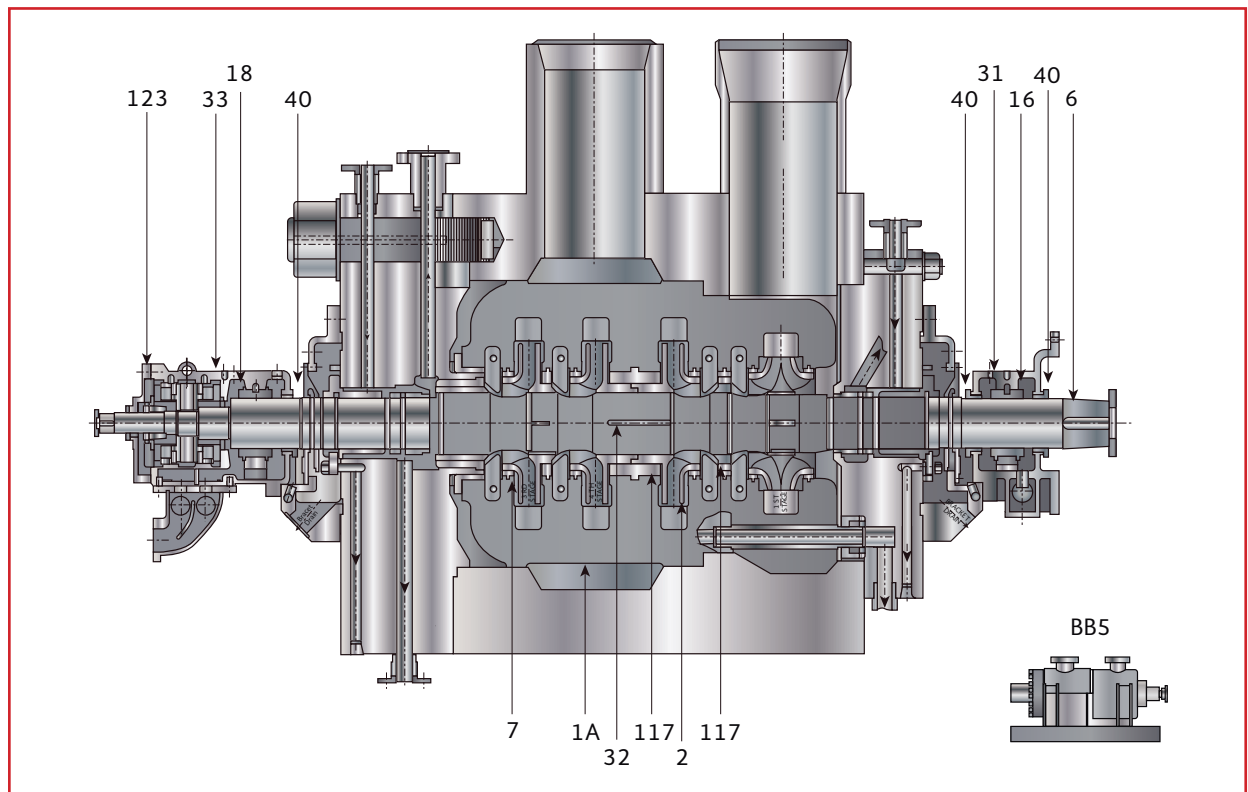
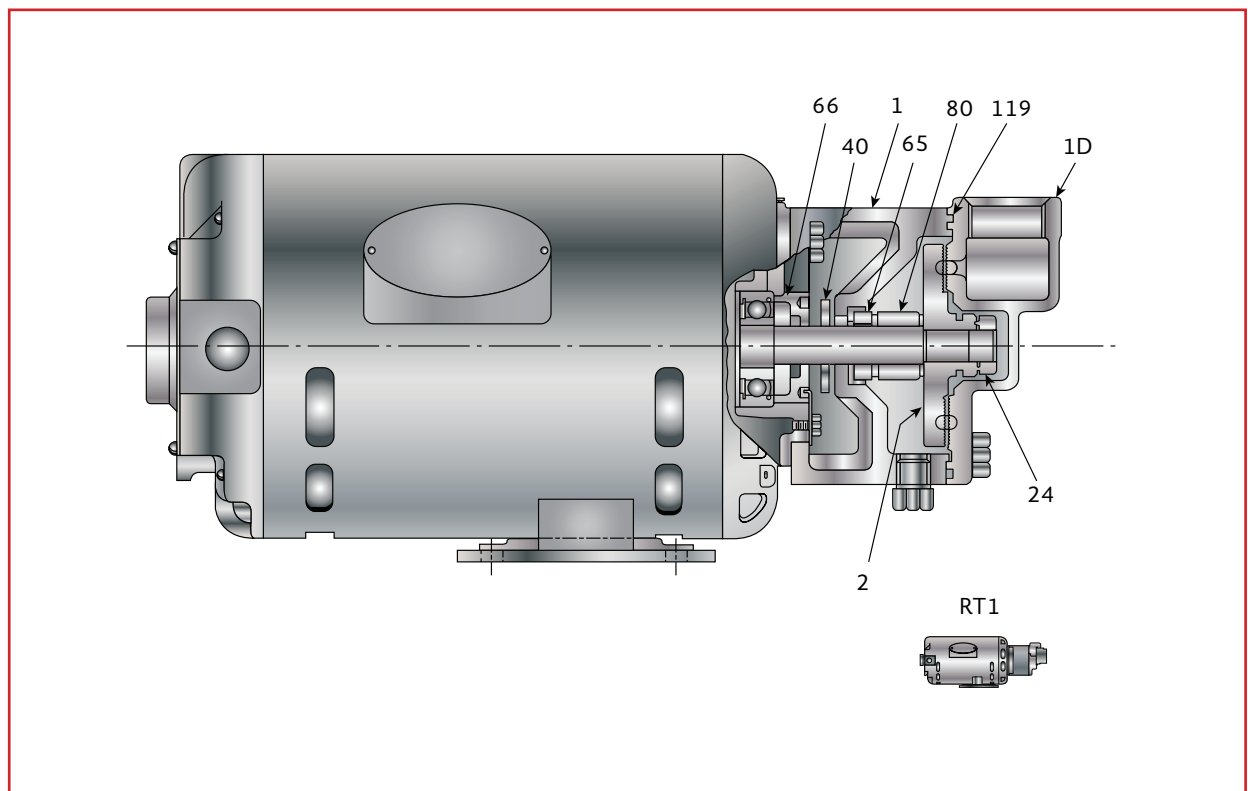


Ilustración 3.51 Turbina regenerativa - Canal lateral suspendido (RT1)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.52 Turbina regenerativa - Canal periférico (RT2)

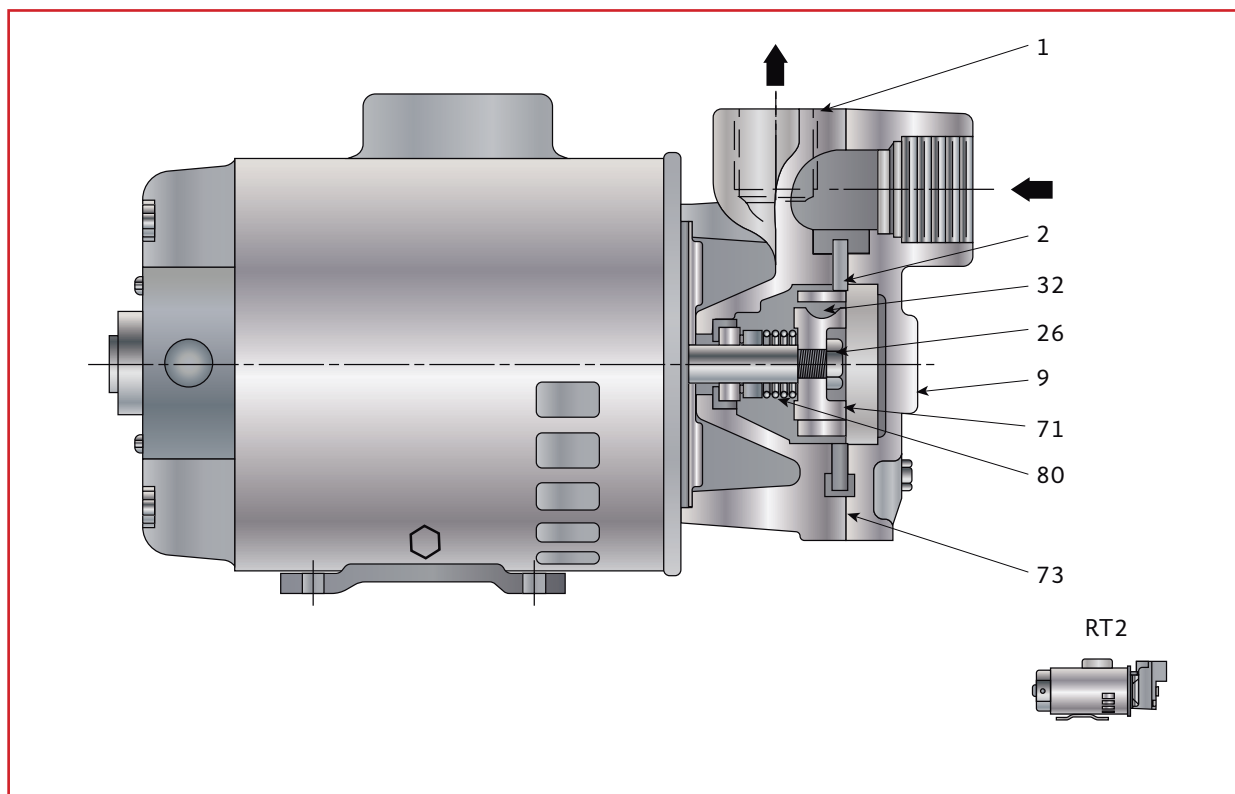
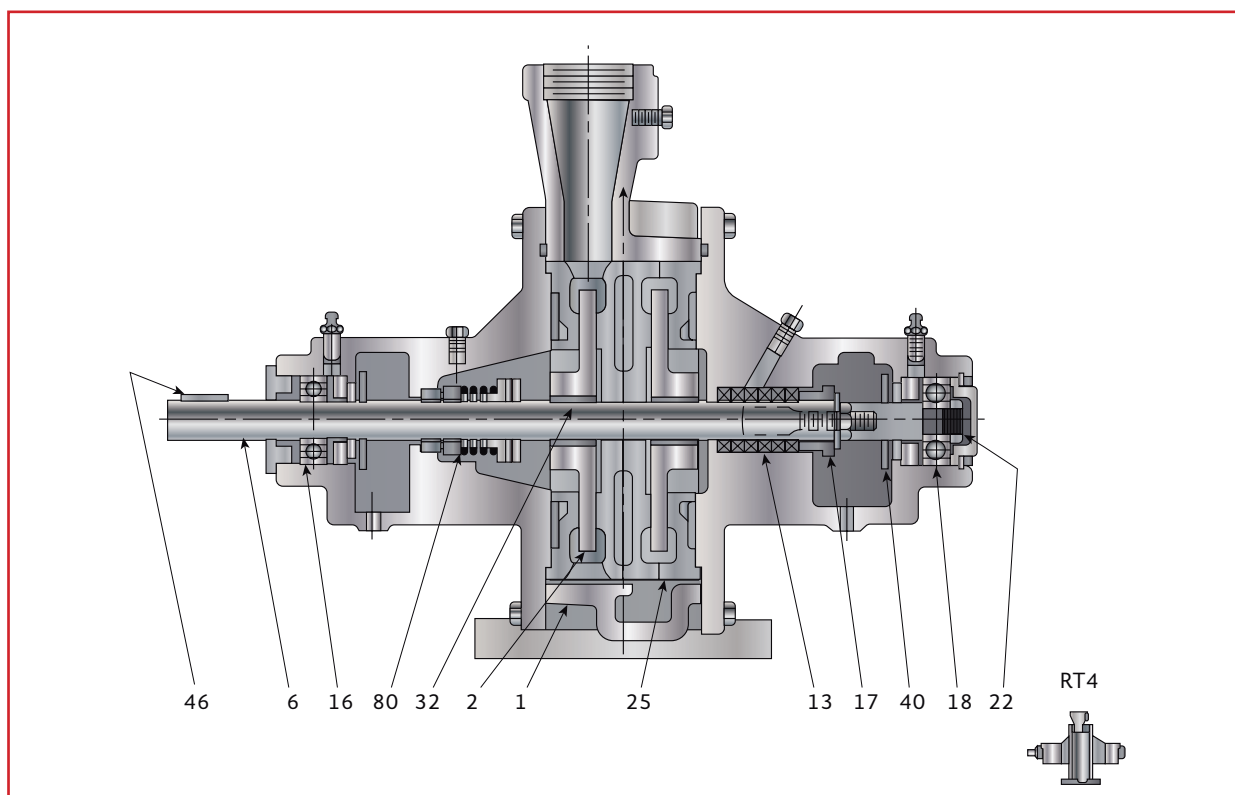
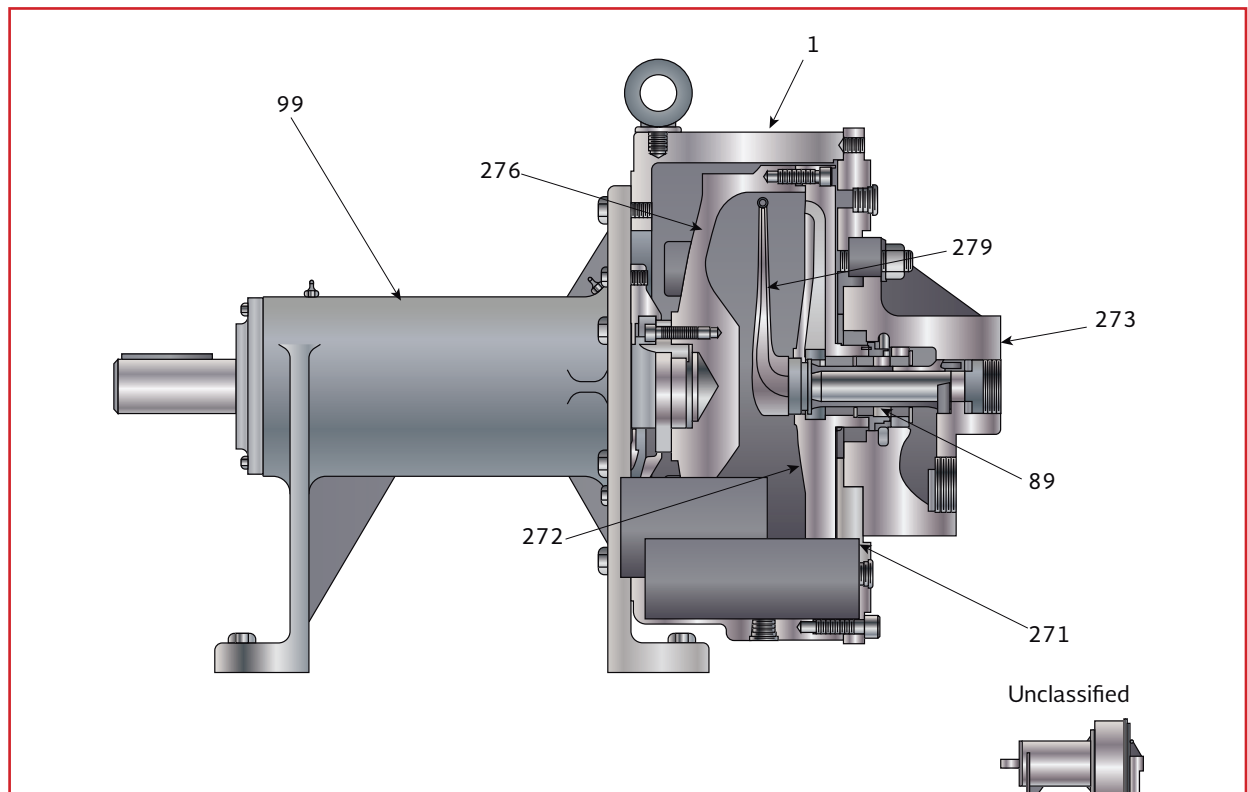


Ilustración 3.53 Turbina regenerativa - Entre rodamientos - Canal periférico (RT4)



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

Ilustración 3.54 Bomba tubo pitot



Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

### 3.6.9. NOMENCLATURA DE BOMBAS CENTRIFUGAS

La siguiente nomenclatura y definiciones proporcionan un medio para la identificación de los distintos componentes de la bomba cubiertos por las Normas del Instituto Hidráulico y para

servir como un lenguaje común entre el comprador, el fabricante, y aquellos que escriben las especificaciones de las bombas y equipos de bombeo.

En la Tabla 3.1 se muestran las descripciones de las partes en bombas centrifugas.

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético

| Nombre de la parte                      | ID  | Abreviación en ingles | Definición                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------|-----|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adaptador                               | 71  | Adpt                  | Una pieza mecanizada utiliza para permitir el montaje de otras dos partes o para un espaciador                                                                         |
| Montaje, núcleo del rotor en el motor   | 222 | Assy rtr core         | El conjunto giratorio de una máquina eléctrica que contiene laminaciones y conductores, que, al interactuar con el conjunto del núcleo del estátor, produce torque     |
| Montaje, núcleo del estátor en el motor | 223 | Assy sttr core        | El conjunto fijo de una máquina eléctrica que contiene laminaciones y devanados que crea campos magnéticos                                                             |
| Montaje, rotor                          | 222 | Assy rtr              | El conjunto giratorio de una máquina eléctrica que contiene laminaciones y conductores que, al interactuar con el conjunto de núcleo del estátor, produce torque       |
| Base                                    | 53  | Base                  | Una estructura para soportar la bomba                                                                                                                                  |
| Placa base                              | 23  | Base p1               | Un elemento sobre el que se montan la bomba y su motor                                                                                                                 |
| Cojinete , interior                     | 16  | Brg inbd              | El cojinete más cercano del acoplamiento entre el cojinete de la bomba pero el más alejado del acoplamiento de la succión final de una bomba                           |
| Cojinete, fuera                         | 18  | Brg outbd             | El cojinete más alejado del acoplamiento entre el cojinete de la bomba pero el más cercano del acoplamiento de la succión final de una bomba                           |
| Cojinete, Manga                         | 39  | Brg slv               | Un cojinete cilíndrico reemplazable asegurado dentro de un elemento estacionario                                                                                       |
| Campaba, final                          | 271 | Bell end              | La campana final realiza dos funciones. En primer lugar, actúa como una cubierta para el conjunto giratorio. En segundo lugar, proporciona un soporte para el colector |
| Soporte, cojinete                       | 125 | Bkt brg               | Soporte desmontable que contiene un cojinete.                                                                                                                          |
| Buje, cojinete                          | 39  | Bush brg              | La parte móvil de una camisa de cojinete en contacto con el muñón                                                                                                      |
| Buje, cojinete, interior                | 235 | Bush brg in           | Tipo de manga del cojinete en la sección del motor que esta lubricado por el bombeo (fluido del sistema , cojinete que esta más cercano al impulsor )                  |
| Buje, cojinete, exterior                | 237 | Bush brg out          | Tipo de manga del cojinete en la sección del motor que esta lubricado por el bombeo (fluido del sistema , cojinete que esta más lejano al impulsor )                   |
| Buje, diafragma entre etapas            | 113 | Bush instg diaph      | Una pieza reemplazable de forma tubular montada en el diafragma entre etapas.                                                                                          |
| Buje, reducción de presión              | 117 | Bush press red        | Una pieza reemplazable usa para reducir la presión del líquido en la caja de empaquetadura o junta de la cámara mediante el estrangulamiento del flujo.                |
| Buje, empaquetadura                     | 63  | Bush sffg box         | Una manga o anillo sustituible colocados en el extremo de la caja de empaquetadura frente a la prensaestopas                                                           |
| Buje, acelerador, auxiliar              | 171 | Bush throt aux        | Un anillo estacionario o la manga colocada en la prensaestopas de un subconjunto de sello mecánico para restringir las fugas en caso de falla del sello.               |
| Bote, roto                              | 220 | Can rtr               | Delineador que aísla el núcleo del rotor desde el proceso del fluido y protege contra la corrosión                                                                     |
| Cubierta , cojinete, interior           | 41  | Cap brg inbd          | La parte superior desmontable del alojamiento del cojinete interior.                                                                                                   |
| Cubierta , cojinete, exterior           | 43  | Cap brg outbd         | La parte superior desmontable del alojamiento del cojinete exterior                                                                                                    |
| Carcasa                                 | 1   | Casing                | La porción de la bomba que incluye la cámara del impulsor y la voluta o difusor.                                                                                       |
| Carcasa, medio de prensaestopas         | 1C  | Csg gld half          | El prensaestopas medio (motor) de una carcasa radialmente dividida                                                                                                     |
| Carcasa, medio interior                 | 1A  | Csg Mr half           | El medio inferior o el apoyo de la carcasa de una bomba axial dividida                                                                                                 |
| Carcasa , medio succión                 | 1D  | Csg suc half          | El medio de succión de una carcasa radialmente dividida                                                                                                                |

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

| Nombre de la parte                      | ID  | Abreviación en inglés         | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------|-----|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carcasa, medio superior                 | 18  | Csg upr haif                  | El nivel superior o extraíble de la carcasa de una bomba axial dividida                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Collar de liberación                    | 36  | Clr rel                       | Dispositivo de anillo partido para facilitar el movimiento de atornillado de impulsores.                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Collar flecha                           | 68  | Clr sft                       | Un anillo utilizado en la flecha para establecer un desnivel                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Collar, empuje                          | 72  | Clr thr                       | Un collar circular montado la flecha para retener un anillo partido y transmitir el empuje axial                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Medio de acoplamiento, motor            | 42  | Cplg half drvr                | El medio de acoplamiento en el montaje de la flecha del motor                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Medio de acoplamiento, bomba            | 44  | Cplg half pump                | El medio de acoplamiento en el montaje de la flecha de la bomba                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Acoplamiento bomba de aceite            | 120 | Cplg oil pump                 | Un medio de conectar la flecha del motor a la flecha de la bomba de aceite.                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Acoplamiento, flecha                    | 70  | Cplg sft                      | Un mecanismo utilizado para transmitir potencia desde el eje de accionamiento para el eje de la bomba, o para conectar dos ejes.                                                                                                                                                                                                                                    |
| Tapa, final del cojinete                | 123 | Cov brg end                   | Una placa de cierre del alojamiento del rodamiento exterior                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Tapa, cojinete, interior                | 35  | Cov brg inbd                  | Una placa de cierre para cualquiera de los extremos de un cojinete interior de bombas multietapas entre cojinetes, o para el extremo del cojinete del impulsor de bombas de succión final                                                                                                                                                                           |
| Tapa, cojinete, exterior                | 37  | Cov brg outbd                 | Una placa de cierre para cualquiera de los extremos del rodamiento exterior de las bombas de doble aspiración o de etapas múltiples, o para acoplamiento final de cojinetes de bombas de succión final.                                                                                                                                                             |
| Tapa, cubierta                          | 239 | Cov csg                       | Una pieza extraíble que proporciona acceso a pasos de flujo internos. Esta pieza está atornillado a la caja para sellar el punto de acceso.                                                                                                                                                                                                                         |
| Tapa, extremo del motor                 | 207 | Cov mot end                   | Una pieza extraíble que encierra los extremos de una carcasa del estátor del motor.                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Tapa, cubierta del rodamiento de aceite | 45  | Cov oil brg cap               | Una tapa o placa sobre un orificio de llenado de aceite o agujero de inspección en una tapa del rodamiento.                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Tapa, rotor                             | 272 | Cov rot                       | La cubierta del rotor al rotor a rotor actúa como un impulsor para llevar a cabo líquido en el conjunto del rotor. Junto con el rotor, la tapa del rotor forma el conjunto de rotor. El propósito del conjunto de rotor en una bomba de tubo de Pitot es aumentar la velocidad de rotación del fluido y permitir que se lleve a cabo la abertura del tubo de Pitot. |
| Tapa, empaquetadura y cámara del sello  | 11  | Cov stfg box<br>Cov seal cham | Una pieza extraíble, con caja de empaquetadura o la cámara de sellado integral, que se utiliza para encerrar el lado exterior del impulsor en la carcasa de bombas de succión final.                                                                                                                                                                                |
| Tapa de succión                         | 9   | Cov suct                      | Una pieza extraíble, con el que la boquilla de entrada puede ser integral, que se utiliza para encerrar el lado de aspiración de la carcasa de una bomba de succión final.                                                                                                                                                                                          |
| Paso, entre etapas                      | 111 | Xover instg                   | Una pieza diseñada especificidad que transporta el flujo de una etapa a otra en una bomba de etapas múltiples.                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Deflector                               | 40  | Defl                          | Una brida o collar montados en un eje y girando con él para evitar el paso de líquido, grasa, aceite, o de calor a lo largo del eje.                                                                                                                                                                                                                                |
| Diafragma, entre etapas                 | 109 | Diaph instg                   | Una partición estacionaria móvil entre etapas de una bomba de etapas múltiples.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Difusor                                 | 5   | Diff                          | Una pieza, adyacente a la salida del impulsor, que tiene múltiples pasajes de área cada vez mayor para la conversión de la velocidad a la presión.                                                                                                                                                                                                                  |
| Disco o tambor, equilibrio              | 56  | Disc/drum bal                 | El miembro giratorio de un dispositivo de equilibrado hidráulico.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |



Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

| Nombre de la parte                             | ID  | Abreviación en ingles | Definición                                                                                                                           |
|------------------------------------------------|-----|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Codo, descarga                                 | 105 | Ell disch             | Un codo en un flujo axial o en una bomba de flujo mixto por el cual el líquido sale de la bomba                                      |
| Codo, succión                                  | 57  | Ell suct              | Un pasaje curvado para el agua , normalmente 90 grados, unido a la entrada de la bomba                                               |
| Marco                                          | 19  | Fr                    | Un parte de una bomba de succión final a la que se monta la unidad de transporte y equipos rotativos                                 |
| Junta                                          | 73  | Gskt                  | Material elástico utilizado para sellar las juntas entre piezas no giratorias para evitar fugas                                      |
| Junta, tornillo del impulsor                   | 28  | Gskt imp scr          | Material elástico utilizado para sellar conjunta entre el cubo del impulsor y el tornillo del impulsor                               |
| Junta, camisa del la flecha                    | 38  | Gskt sft slv          | Material elástico utilizado para proporcionar un sello entre el manga de la flecha y el impulsor                                     |
| Medidor, observar ,aceite                      | 143 | Ga sight oil          | Un dispositivo para la determinación visual del nivel de aceite                                                                      |
| Prensaestopa                                   | 17  | Gld                   | Un retén que comprime el empaque en una caja de empaquetadura o conserva el elemento fijo de un sello mecánico                       |
| Prensaestopa , caja de empaquetadura, auxiliar | 133 | Gld stfg box aux      | Un adherente proporcionado para la compresión de un empaque en una caja de empaquetadura auxiliar                                    |
| Protector, acoplamiento                        | 131 | Grd cplg              | Un protector sobre un acoplamiento de la flecha                                                                                      |
| Ensamblaje de caja de cambios                  | 291 | Gbx assy              | Un dispositivo para aumentar mecánicamente o disminuir la velocidad del conductor a través de una relación de transmisión específica |
| Manija                                         | 227 | Hdl                   | Una pieza que se puede utilizar para controlar a mano una bomba.                                                                     |
| Alojamiento, cojinete                          | 99  | Hsg brg               | Un cuerpo en el que está montado el cojinete (s)                                                                                     |
| Alojamiento, cojinete, interior                | 31  | Hsg brg inbd          | Ver cojinete (interior) y el alojamiento del cojinete                                                                                |
| Alojamiento, cojinete, exterior                | 33  | Hsg brg outbd         | Ver cojinete (exterior) y el alojamiento del cojinete                                                                                |
| Alojamiento, colector                          | 273 | Hsg man               | Un pieza que contiene la vía de paso para el líquido dentro y fuera de la bomba                                                      |
| Alojamiento, estátor                           | 201 | Hsg sttr              | Un pieza en el que está montado un conjunto del núcleo del estátor                                                                   |
| Impulsor                                       | 2   | Imp                   | La pieza de alabes de un conjunto giratorio de la bomba, que imparte la fuerza principal para el líquido bombeado                    |
| Inductor                                       | 246 | md                    | Una hélice de flujo axial de una sola etapa instalado en el ojo de succión de un impulsor para bajar la NPSHR                        |
| Artículo , cojinete de empuje                  | 74  | Jnl thr brg           | Una pieza cilíndrica extraíble montado la flecha y que se convierte en el buje. Puede tener un collar de empuje integral             |
| LLave, articulo del cojinete                   | 76  | Key brg jnl           | Una pieza de lados paralelos utilizado para la prevención del articulo del cojinete gire con respecto al eje                         |
| Llave, acoplamiento                            | 46  | Key cplg              | Una pieza de lados paralelos utilizado para la prevención que el eje gire en un medio de acoplamiento                                |
| Llave, impulsor (propela)                      | 32  | Key imp               | Una pieza de lados paralelos utilizado para la prevención que el impulsor gire con respecto al eje                                   |
| Delineador de, carcasa                         | 219 | Lnr csg               | Un metal reemplazable, caucho, o inserto fenólico para proteger la carcasa contra el desgaste abrasivo o daños                       |
| Delineador, medio de empaquetadura             | 21D | Lnr, gld half         | Un inserto reemplazable para proteger el medio de empaquetadura de desgaste abrasivo o daños                                         |

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

| Nombre de la parte                                                       | ID  | Abreviación en inglés                   | Definición                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Delineador de, cubierta de la caja de empaquetadura o la cámara de sello | 21B | Lnr, stfg box cov<br>Lnr, seal cham cov | Un inserto reemplazable, para proteger la cubierta de la caja de empaquetadura o cámara de sello de desgaste por abrasión o daños                            |
| Delineador, Tapa de succión                                              | 21A | Lnr, suct cov                           | Un inserto reemplazable, para proteger la tapa de succión de desgaste por abrasión o daños                                                                   |
| Delineador, medio de succión                                             | 21C | Lnr, suct half                          | Un inserto reemplazable para proteger el medio de succión de desgaste abrasivo o daños                                                                       |
| Contratuerca, cojinete                                                   | 22  | Lknt brg                                | Un sujetador que sitúa un cojinete antifricción en la flecha                                                                                                 |
| Contratuerca, acoplamiento                                               | 50  | Lknt cplg                               | Una fijación que sostiene un medio de acoplamiento en posición sobre una flecha cónico                                                                       |
| Arandela de seguridad                                                    | 69  | Lknt cplg                               | Un dispositivo para evitar el aflojamiento de una tuerca                                                                                                     |
| Lubricador                                                               | 77  | Lubr                                    | Un dispositivo para aplicar un lubricante en el lugar de uso                                                                                                 |
| Tuerca, impulsor                                                         | 24  | Nut imp                                 | Una pieza roscada utiliza para sujetar el impulsor en la flecha                                                                                              |
| Tuerca, ajuste de la flecha                                              | 66  | Nut sft adj                             | Una pieza roscada para alterar la posición axial del ensamble giratorio                                                                                      |
| Tuerca, manga de la flecha                                               | 20  | Nut sft slv                             | Una pieza roscada utiliza para localizar la camisa de la flecha en el eje                                                                                    |
| O-ring                                                                   | 119 | O-ring                                  | Un sello radial o tipo axial                                                                                                                                 |
| Empaque                                                                  | 13  | Pkg                                     | Un material lubricado utiliza para controlar las fugas alrededor de la caja de empaquetadura                                                                 |
| Pedestal, motor                                                          | 81  | Ped drvr                                | Un soporte para el motor de una bomba vertical                                                                                                               |
| Tubo, columna                                                            | 101 | Pipe col                                | Un tubo vertical por el cual se suspende el elemento de bombeo                                                                                               |
| Placa, cara                                                              | 61  | P1 side                                 | Una pieza reemplazable en la carcasa o cubierta de un impulsor abierto de bombas para mantener una distancia cerca a lo largo de la cara del impulsor        |
| Placa, pila                                                              | 278 | St p1                                   | La placa de apilamiento fija la posición de los cojinetes en el marco, localizando de este modo el rotor en la relación correcta de las partes estacionarias |
| Placa, desgaste                                                          | 225 | Wp p1                                   | Una pieza con juego axial reemplazable utilizada para proteger la caja, la caja de empaquetadura, o tapa de succión del desgaste                             |
| Bomba, aceite                                                            | 121 | Aceite de la bomba                      | Un dispositivo para el suministro de aceite lubricante bajo presión                                                                                          |
| Retén, grasa                                                             | 51  | Ret grs                                 | Un sello de contacto o cubierta para retener la grasa                                                                                                        |
| Anillo, balance                                                          | 115 | Ring bal                                | Pieza estacionaria de un dispositivo de equilibrado hidráulico                                                                                               |
| Ring, casing                                                             | 7   | Ring csg                                | Anillo estacionario reemplazable para proteger la carcasa en el ajuste que se ejecuta con el anillo impulsor o el impulsor                                   |
| Anillo, impulsor                                                         | 8   | Ring imp                                | Un anillo reemplazable montado en uno o ambos lados del impulsor                                                                                             |
| Anillo, interno                                                          | 29  | Ring ltrn                               | Una pieza anular utiliza para establecer un sello del líquido alrededor de la flecha y para lubricar el empaque de la caja de empaquetadura                  |
| Anillo, aceite                                                           | 60  | Ring oil                                | Un anillo giratorio utilizado para transportar aceite desde el depósito hasta el rodamiento                                                                  |
| Anillo, cubierta la caja de empaquetadura                                | 27  | Ring stfg box cov                       | Un anillo estacionario, para proteger la tapa de la caja de empaquetadura en el ajuste que se ejecuta con el anillo impulsor o rodete                        |
| Anillo, tapa de succión                                                  | 25  | Ring suct cov                           | Un anillo estacionario, para proteger la tapa de succión en el ajuste que se ejecuta con el anillo impulsor o rodete                                         |
| Anillo, empuje, dividido                                                 | 86  | Ring thr split                          | Un anillo partido montado sobre un eje para absorber el empuje axial del desbalanceo del impulsor en la bomba                                                |

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

| Nombre de la parte                         | ID  | Abreviación en inglés  | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------|-----|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rotor                                      | 276 | Rot                    | El rotor está conectado directamente al eje de accionamiento de la bomba. Junto con la tapa del rotor, el rotor forma el ensamble de rotor. El propósito del ensamble de rotor en una bomba de tubo de Pitot es aumentar la velocidad de rotación del fluido y permitir que se lleve a cabo la abertura del tubo de Pitot |
| Tornillo, impulsor                         | 26  | Scr imp                | Un tornillo para sujetar el impulsor en la flecha                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Tornillo, impulsor, ajustable              | 149 | Scr imp adj            | Un tornillo especial para ajustar el movimiento axial del eje del impulsor y controlar la holgura entre el impulsor giratorio y la pista del cojinete                                                                                                                                                                     |
| Sello, tapa de cojinete, interior          | 47  | Seal brg cov inbd      | Un sello de contacto para la tapa del rodamiento (interior)                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Sello, tapa de cojinete, exterior          | 49  | Seal brg cov outbd     | Un sello de contacto para la tapa del rodamiento (exterior)                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Sello, alojamiento de cojinete             | 169 | Seal brg hsg           | Un sello de contacto para un alojamiento de cojinete                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Sello, mecánico                            | 89  | Seal mech              | Un dispositivo que evita la fuga de fluidos a lo largo las flechas giratorias                                                                                                                                                                                                                                             |
| Sello, mecánico, elemento rotatorio        | 80  | Seal mech rot elem     | Un dispositivo montado de forma flexible en un eje o en la caja de empaquetadura y que tiene una cara junta plana lisa contra la superficie de sellado estacionaria                                                                                                                                                       |
| Sello, mecánico, elemento estacionario     | 65  | Seal mech sta elem     | Un subconjunto que consta de una o más partes montado en o sobre una caja de empaquetadura y que tiene una cara lisa de sellado plana                                                                                                                                                                                     |
| Flecha                                     | 6   | Sft                    | Pieza cilíndrica en el que está montado el impulsor y a través del cual la potencia se transmite al impulsor                                                                                                                                                                                                              |
| Flecha, cabeza                             | 10  | Sft hd                 | Pieza cilíndrica superior en una bomba vertical, que transmite la potencia desde el motor al eje de accionamiento                                                                                                                                                                                                         |
| Carcasa, medio inferior, cojinete interior | 135 | Shl lwr half brg inbd  | Una pieza semicilíndrica apoyada el buje del cojinete situado en el medio inferior del alojamiento del cojinete interior                                                                                                                                                                                                  |
| Carcasa, medio inferior, cojinete exterior | 139 | Shl lwr half brg outbd | Pieza soportada en el buje del cojinete localizada en el medio inferior del alojamiento exterior                                                                                                                                                                                                                          |
| Carcasa, medio superior, cojinete interior | 137 | Shl upr half brg inbd  | Pieza soportada en el buje del cojinete localizada en el medio superior del alojamiento del cojinete interior                                                                                                                                                                                                             |
| Carcasa, medio superior, cojinete exterior | 141 | Shl upr half brg outbd | Pieza soportada en el buje del cojinete localizada en el medio superior del alojamiento del cojinete exterior                                                                                                                                                                                                             |
| Cuña                                       | 67  | Shim                   | Un pedazo de material colocado entre dos piezas para ajustar su posición o rellenar un hueco                                                                                                                                                                                                                              |
| Manga, buje del impulsor                   | 34  | Slv imp hub            | Parte cilíndrica montada reemplazable en el buje del impulsor de la bomba                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Manga, entre etapa                         | 58  | Slv instg              | Una pieza cilíndrica montada en el eje de la bomba entre los impulsores                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Manga, flecha                              | 14  | Slv sft                | Una pieza cilíndrica montada sobre la flecha para proteger el eje a través de la cámara de caja de empaquetadura o sello, y que también puede servir para localizar el impulsor axialmente en el eje                                                                                                                      |

Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrífugas en orden alfabético (continuación)

| Nombre de la parte              | ID  | Abreviación en inglés | Definición                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|-----|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espaciador, cojinetes           | 78  | Sper brg              | Una pieza cilíndrica que se ajusta sobre la flecha para localizar los cojinetes                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Espaciador, acoplamiento        | 88  | Sper cplg             | Una pieza cilíndrica utilizada para proporcionar espacio axial para la extracción del ensamble rotatorio sin remover el motor                                                                                                                                                                                                                          |
| Cedazo                          | 209 | Str                   | Un dispositivo que se utiliza para evitar que objetos grandes entren en la bomba                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Caja de empaquetadura           | 83  | Stfg box              | Una porción de la cubierta de la carcasa, en la que el embalaje o un sello mecánico se coloca para evitar fugas                                                                                                                                                                                                                                        |
| Caja de empaquetadura, auxiliar | 75  | Stfg box aux          | Una parte de la prensaestopas y la cubierta de un subconjunto del sello mecánico diseñado para dar cabida a uno o más anillos de empaquetadura                                                                                                                                                                                                         |
| Deposito (aceite o grasa)       | 62  | Thwr (oil or grs)     | Un disco que gira con el eje de la bomba para distribuir el lubricante desde el depósito hasta el cojinete                                                                                                                                                                                                                                             |
| Tubo, Pitot                     | 279 | Pitot                 | El tubo de Pitot se extiende desde el colector en el conjunto rotor. La entrada al tubo de Pitot se encuentra cerca de la periferia del conjunto de rotor. En funcionamiento, el tubo de Pitot convierte la carga de velocidad dentro del conjunto de rotor a presión, sirviendo como función de voluta o difusor en una bomba centrífuga convencional |

Fuente: ANSI/HI 1.1-1.2

### 3.7. VÁLVULAS<sup>22</sup>

La selección de las válvulas incluye muchos factores y es preferible tener como referencia un sistema que facilite la selección. Se deben tener en cuenta, como mínimo, las siguientes características básicas: tipo de válvula, materiales de construcción, capacidades de presión y temperatura, material de empaquetaduras y juntas, vida útil, costo y disponibilidad, ver Ilustración 3.55:

- a) El tipo de válvula depender de la función que debe efectuar, sea de cierre (bloqueo), estrangulación o para impedir el flujo inverso.
- b) Materiales de construcción. Todos los elementos expuestos de la válvula con el fluido deben tener resistencia a la corrosión. Para lo cual el diseñador debe de tomar en cuenta las especificaciones realizadas por el fabricante. Sin embar-

go se debe de tener en cuenta otros factores que pueden acelerar el proceso de corrosión, tales como: presencia de sales disueltas, aereación de líquidos, altas velocidades de los fluidos, etc.

- c) Material de empaquetaduras y juntas. La selección de una empaquetadura inadecuada puede permitir fugas en la válvula y requerir un paro del sistema para reemplazarla. Al seleccionar el material de empaquetadura se debe de consultar las especificaciones de los fabricantes.
- d) Costo y disponibilidad. En el mercado existen una gran variedad de válvulas, cuando factores como: materiales de construcción, rendimiento, capacidad para presión y temperatura y disponibilidad son iguales, se debe de seleccionar la válvula de menor precio. La única forma de conocer el costo y disponibilidad, es cuando se tienen cotizaciones de diversos distribuidores o fabricantes

Ilustración 3.55 Válvulas



- e) Presión Nominal de Diseño de la válvula, este factor está determinado por los datos de proceso en planta, fundamentalmente por la intersección entre presión de trabajo efectiva y temperatura de trabajo efectiva. Existen unas presiones de diseño o Rating de fabricación estándar sobre los que especificar, estos difieren entre las Normas DIN o ANSI, los más comunes se representan en la siguiente tabla con su equivalencia más cercana, ver Tabla 3.2

### 3.8. TUBERÍA<sup>23</sup>

#### 3.8.1. TUBERÍA DE ACERO

La tubería de hierro dúctil puede ser utilizada para presiones de diseño dentro de las clasificaciones establecidas por las normas y especificaciones.

La tubería de hierro dúctil no se utilizar para fluidos inflamables, combustible, o fluidos tóxi-

<sup>23</sup> Fuente: ASME B31.1



cos. Los límites de temperatura para el uso de tubería de hierro dúctil se determinan a menudo por el tipo de junta de elastómero utilizado en las juntas de la tubería, o el material de revestimiento utilizado en la superficie interna de la tubería.

Es responsabilidad del diseñador determinar si estos componentes son adecuados para su uso.

### 3.8.2. TUBERÍA PLÁSTICA

Tabla 3.2 Equivalencia entre Normas DIN y ANSI

| DIN    | ANSI       |
|--------|------------|
| PN 10  | Clase 125  |
| PN 16  | Clase 150  |
| PN 25  | Clase 300  |
| PN 40  | Clase 600  |
| PN 64  | Clase 900  |
| PN 100 | Clase 1500 |
| PN 250 | Clase 2500 |

La tubería de plástico puede ser usada para agua y líquidos no inflamables, donde la experiencia o prueba han demostrado que el tubo de plástico es adecuado para las condiciones de presión y temperatura que se encuentran dentro de las recomendaciones del fabricante. La norma establece para estos materiales que la presión se limita a 50psi (1 000 Kpa) y temperaturas de 140° F (60° C) para el servicio de agua. La presión y los límites de temperatura para otro servicio serán basados en el riesgo involucrado, pero no deberán ser superar los 150psi (1 000 Kpa) y 140° F (60° C).

## 3.9. MATERIALES<sup>24</sup>

### 3.9.1. CORROSIÓN Y EROSIÓN EN BOMBAS DE TURBINA VERTICAL

La pérdida de metal debido a la corrosión y la erosión es un problema muy importante. La corrosión y la erosión pueden estar estrechamente relacionadas como para que sean difíciles de distinguir.

- a) La corrosión puede ser ampliamente definida como la destrucción o el deterioro de metal mediante química directa o reacción electroquímica con su entorno
- b) La erosión es desgaste del material debido a la abrasión o la cavitación, y, a menudo se combina con la corrosión

El mecanismo de la corrosión es el mismo para todos los metales y aleaciones, que difieren en grado pero no en tipo. Está bien establecido que en la mayoría de los casos la corrosión esta en presencia de agua, la fuerza impulsora de la reacción corrosiva entre un metal y su entorno, es electroquímica.

El grado de protección de la capa de óxido en líquidos neutros (pH = 7) muestra la gran variación en la corrosividad encontrada. El revestimiento resultante formado en soluciones alcalinas (pH > 7) es más protectora que el que se

24 Fuente: ANSI/HI 2.3

forma en soluciones neutras, y por lo tanto, el resultado es un menor porcentaje de corrosión. La velocidad inicial de la corrosión en soluciones alcalinas es aproximadamente tan grande como la de los líquidos de pH neutro, pero la velocidad de corrosión disminuye a medida que se forma la película protectora. En la mayoría de los casos, en este rango ácido ( $\text{pH} < 7$ ), la protección otorgada por las películas protectoras es pequeña.

Las principales formas de corrosión y la erosión que se pueden encontrar deberán estar consideradas contra por la selección adecuada de los materiales y con el cuidado requerido para la aplicación de la bomba.

### ***Corrosión galvánica***

Cuando dos metales diferentes están en contacto o de otra manera eléctricamente conectados entre sí en un líquido conductor de electricidad, una célula galvánica se forma y la corriente fluye de una a la otra. La elección adecuada de los metales para el medio ambiente dado puede minimizar los efectos de la corrosión galvánica.

### ***Corrosión uniforme***

Esta, como su nombre lo indica es un ataque uniforme sobre el metal y puede ser resuelto mediante la selección de un material más resistente a la solución de corrosión se puede utilizar inhibidores, recubrimiento protector, o combinaciones de cada uno.

### ***Erosión- corrosión***

La mayoría de los metales dependen de la formación de una película superficial protectora para evitar un mayor ataque químico. Es com-

preensible que por lo tanto un aumento en la velocidad o abrasivos en el fluido bombeado podría erosionar la película protectora y dar lugar a corrosión acelerada.

### ***Erosión por cavitación***

La mayoría de aplicaciones de bombeo experimentan algún grado de cavitación, especialmente cuando la bomba se opera a condiciones fuera de diseño. Erosión por cavitación puede ser significativa de velocidades internas superior de la bomba, combinados con una relación de margen bajo ( $\text{NPSH} / \text{NPSH}_3$ ), y otros factores.

### ***Corrosión irregular***

Esta forma de corrosión suele limitarse al grupo austenítica, no magnética, cromo-níquel inoxidable y se evidencia por el ataque a los límites de grano. La causa es la precipitación de carburos de cromo a los límites de grano y que resulta en la destrucción prácticamente completa de las propiedades mecánicas del metal. Un tratamiento térmico inadecuado con un rango de calentamiento de entre 343 a 816 °C produce el mismo efecto.

### ***Corrosión por picaduras***

Corrosión por picadura toma la forma de ataque localizado en el que la penetración rápida puede tener lugar en varias áreas pequeñas de ubicación aleatoria. Las picaduras es más probable que ocurra cuando cloruros u otros halógenos están presentes en una solución oxidante.

Otros factores que deben ser considerados son la temperatura, aireación, la calidad y la cantidad de gases disueltos, y otros numerosos. Por ejem-

plo, considere la aireación. En la mayoría de las soluciones de aireación es deseable contar con cualquiera de los aceros inoxidable pero puede ser perjudicial con cobre o aleaciones a base de cobre.

Siempre es necesario para el análisis de agua proporcionar un punto de partida de la investigación ya que en interpretación del análisis es necesario reconocer que existe una diferencia apreciable entre lo que podría ser clasificado como agua satisfactoria en lo que respecta a su uso final y si es o no es corrosivo para el manejo de la bomba de agua. Los valores indicados en el análisis indican la magnitud aproximada en la que la corrosión notable y la erosión se pueden anticipar. La interpretación de los análisis de agua requiere un conocimiento de la química; sin embargo, hay unos pocos parámetros a tener en cuenta, incluyendo los siguientes:

### **Color**

El color tiene poca importancia, salvo para indicar su fuente. Puede ser debido a mineral o materia orgánica en solución o como un coloide o en suspensión. Un tinte amarillo puede indicar un agua con hierro en la solución, ya sea por oxígeno o por medio de la liberación de dióxido de carbono. Las sales de hierro con frecuencia indican que las acumulaciones se pueden esperar en la tubería y en la flecha de la superficie.

### **Olores**

Los olores y sabor en el agua pueden ser el resultado de cualquiera o una combinación de condiciones tales como la presencia de microorga-

nismos, ya sea vivos o muertos; gases disueltos, tales como hidrógeno suministrado, gas de los pantanos, dióxido de carbono, oxígeno o combinada con la materia orgánica; sustancia mineral, tal como cloruro de sodio, hierro, carbonatos y sulfatos; fenoles y otros alquitranados o desechos de petróleo.

### **Nitrógeno**

El nitrógeno en cualquiera de sus formas específicas indica el grado en que la materia orgánica está presente.

### **Cloruros**

Cualquier cantidad de cloruros nos advierte que la corrosión electroquímica se puede esperar. Los cloruros son algunos de los contaminantes más comunes en las aguas naturales. Se encuentran en el agua de mar, lagos naturales, y algunas fuentes de agua subterráneas. Los cloruros también

### **Alcalinidad**

Alcalinidad existe como carbonato normal, tal como bicarbonato, y como hidroxilo o alcalinidad cáustica. El grado de alcalinidad se indica en la escala de pH cuando los valores son más de 7.0, con la concentración creciente la clasificación pH aumenta.

### **Acidez**

El grado de acidez aumenta cuando el valor de pH disminuye por debajo de 7.0. Generalmente se requiere una construcción resistente a la acidez.



## **Sólidos**

La cantidad de sólidos por unidad de volumen, el tamaño de los sólidos, y su dureza ayudará a guiar el proceso de selección de materiales, especialmente para los bujes de cojinetes y desgaste anillos.

### **3.9.2. RECUBRIMIENTOS PROTECTORES**

Algunos de los principales tipos de revestimientos se enumeran a continuación:

- Asfalto y base de alquitrán de hulla
- Plásticos, poliéster, vinilo y epóxico (y muchos compuestos con rellenos)
- Goma (sintético y natural)
- Vidrio, cerámica de porcelana

La eficacia de cualquier de estos recubrimientos está condicionada con la preparación adecuada de la superficie de los metales como las suavidad de las esquinas en soldadura y en los detalles de diseño de área críticas del equipo.

### **3.9.3. MATERIALES PARA BOMBAS VERTICALES ROTODINÁMICAS**

La corrosión puede ser minimizada y en muchos casos completamente prevenida por elección adecuada de los materiales. En diseño de estructuras o maquinas, el ingeniero químico o de materiales debe ser consistente no solo en el costo global del equipo, sino también para obtener la óptima resistencia para la corrosión, erosión, y resistencia al desgaste.

Los materiales típicos utilizados en aplicaciones de bombas verticales incluyen:

- Hierro fundido y hierro dúctil
- Bronces y latones
- Aceros inoxidable, Acero martensíticos
- Los aceros inoxidable austeníticos
- Aceros inoxidable súper dúplex y dúplex
- No metálicos y materiales compuestos

El ingeniero proyectista y el usuario deben seleccionar cuidadosamente los materiales de construcción que sean compatibles con los atributos corrosivos y erosivos del líquido bombeado. Para información adicional sobre materiales de las bombas consulte las normas ANSI/HI 9.1 a 9.5.

# 4

## SELECCIÓN DE GRÚAS

### 4.1. INTRODUCCIÓN

Los diferentes arreglos, capacidades y dimensiones de las grúas que existen en el mercado son el resultado de los requerimientos observados en las diversas áreas de aplicación, como es el caso de plantas de bombeo y/o rebombeo, en las que se ha tipificado el uso de algunas de ellas, que por sus características físicas y formas de operación, cubren satisfactoriamente los requerimientos de manipulación de equipos en estas instalaciones.

Además de definir el tipo de grúa a utilizar, también es importante seleccionar adecuadamente su capacidad, evitando el sobredimensionamiento y la utilización de equipamiento auxiliar innecesario, que eleva los costos de adquisición y operación de la misma, esto es, saber identificar el rango de cargas (bomba, motor, columna de succión, accesorio, etc.), la carga máxima crítica y si los distintos movimientos de la grúa (izaje, traslación, giro) serán con accionamiento manual o motorizado. Se tratará todo lo anterior más adelante.

Es importante, antes de hacer cualquier selección, considerar que las grúas para plantas de bombeo y/o rebombeo son equipos que realmente sólo se utilizan en el montaje inicial y

arranque de la planta y después su uso es muy esporádico, por lo que no conviene tener tantos recursos económicos ociosos.

### 4.2. ALCANCES

En la actualidad el desarrollo de un proyecto de diseño o selección de grúas y polipastos se encuentra supeditado a las recomendaciones de los fabricantes, ya que no se cuenta con la información técnica necesaria, que permita evaluar si efectivamente el equipo recomendado por los mismos es el adecuado y más económico.

Por lo anteriormente mencionado, el objetivo de este capítulo es proporcionar a los proyectistas y profesionales de la ingeniería los criterios generales para seleccionar el tipo de grúa que se debe utilizar en plantas de bombeo y/o rebombeo de agua potable o aguas residuales (negras), para distintas aplicaciones, tales como pozos, cárcamos, acueductos y obras de toma, partiendo principalmente del arreglo de los equipos a manipular.

Es importante apuntar que las capacidades y arreglos de grúas y polipastos propuestos en este capítulo, están acotados según las capacidades recomendadas para plantas de bombeo y/o rebombeo, considerando las opciones más económicas y funcionales, ya que en el mercado existe

una gama de selección mucho mayor, pero que no son recomendables en este tipo de instalaciones, por su grado de complejidad y costo.

### 4.3. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

#### 4.3.1. GRÚAS

La grúa es un equipo estructurado, formado por un conjunto de mecanismos, cuya función es la elevación y el transporte de cargas, que en plantas de bombeo y/o rebombeo se usan en las siguientes modalidades:

- a) Elevación y transporte de carga a lo largo de una línea de trabajo
- b) Elevación y transporte de carga a través de una superficie de trabajo

La primera modalidad comprende el levantar, desplazar, girar y depositar una carga. Para ello, son adecuados los sistemas monocarril (el polipasto de izaje se desplaza a lo largo de una viga carril fija situada sobre la línea de transporte) y las grúas giratorias (el polipasto de izaje se desplaza a lo largo de un brazo giratorio que traza un círculo o arco que constituye la línea de transporte) ver Ilustración 4.1a).

La segunda modalidad comprende el levantar, desplazar transversal y longitudinalmente, girar y depositar la carga. Para ello, son adecuadas las grúas viajeras y las grúas aporticadas, en donde el puente o pórtico, respectivamente, se desplaza longitudinalmente y el polipasto de izaje transversalmente, teniendo este último un aparejo inferior (mufla) que permite el giro del gancho y de la carga, ver Ilustración 4.1b).

Para cumplir satisfactoriamente con los requerimientos de manipulación de equipos y accesorios, tales como bombas, motores, válvulas, columnas de succión, etc. y trasladarlos a un área de maniobras para enviarlos a reparación y/o mantenimiento y que cubren las dos modalidades descritas. En general se utilizan los siguientes tipos de grúas:

- a) Grúa viajera
- b) Grúa aporticada
- c) Sistema monocarril
- d) Grúa giratoria

#### 4.3.2. POLIPASTO

El polipasto es un dispositivo mecánico y/o eléctrico para elevación de carga, cuyos componentes (motor, tambor, reductor de velocidad, freno magnético, flecha, soporte, armazón estructural, interruptor límite, reductor de velocidad, etc.) pueden formar una unidad compacta o de malacate abierto, teniendo este último sus componentes distribuidos adecuadamente sobre una estructura que normalmente forma parte del bastidor de un carro portante.

Los polipastos compactos, principalmente, se clasifican de acuerdo a su mecanismo de accionamiento para el izaje, en:

- a) Polipasto de trinquete
- b) Polipasto de torno
- c) Polipasto de mordaza
- d) Polipasto de motor

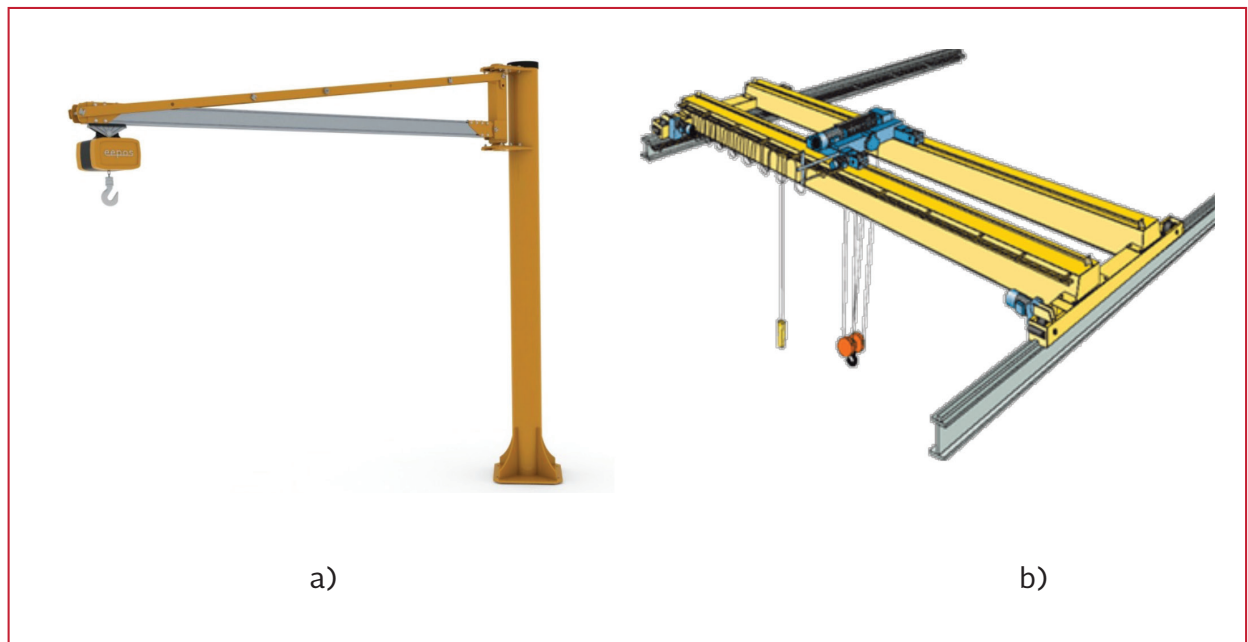
### 4.4. SELECCIÓN DE GRÚAS<sup>25</sup>

Al seleccionar una grúa, siempre se buscará una cuyo diseño y construcción permita realizar el trabajo en forma segura y eficiente, con la

---

25 Fuente: CMAA-70

Ilustración 4.1 Ejemplo de Grúas



menor inversión inicial y el costo de operación y mantenimiento más bajo posible, por lo que se deben considerar los siguientes factores: a) tipo de grúa; b) capacidad, claro e izaje; c) clase de servicio; d) medio ambiente en el que va a operar; e) velocidades de operación y f) equipamiento.

#### 4.4.1. CAPACIDAD, CLARO E IZAJE

Al determinar la capacidad de la grúa, se debe buscar el peso máximo crítico a manipular, pudiendo ser el motor, la bomba, columna de succión, tramo de tubería a la descarga, accesorio, etc. o alguna combinación de éstas, dependiendo del equipo de bombeo (centrífuga horizontal, vertical tipo turbina, pozo profundo, etc.). Se deberá seleccionar la capacidad nominal del polipasto comercial inmediato superior a la carga máxima crítica, cuyo exceso de carga, según prácticas de ingeniería, esté dentro del rango de 15 a 35 por ciento mínimo, o sea 25 por ciento promedio.

El claro de la grúa se determina en función de la posición y distribución de los equipos y/o accesorios que se desee estén dentro del alcance de la misma, según sea el arreglo y el tipo de planta de bombeo. Para grúas giratorias, el claro viene siendo el alcance del brazo.

La altura libre de izaje de la grúa, definida como la distancia entre el piso y el gancho en su posición vertical máxima, estará determinada por la altura de la carga crítica (motor, bomba, columna de succión, accesorio, etc.) multiplicada por dos, considerando además una distancia de libraje mínima de 50 cm. (CMAA No. 70), para poder evitar cualquier obstrucción en piso, de dimensiones similares a la carga manipulada.

#### 4.4.2. CLASIFICACIÓN DE GRÚAS

Este factor se basa en el ciclo de operación que tiene que desarrollar la grúa, del que dependerá su tipo de construcción, la robustez con que haya que construirla y la determinación de sus velocidades

de operación (izaje y traslación). La CMAA (Crane Manufacturers Association of America) en su norma No. 70 describe hasta seis (6) clases de servicio, esto es: clase A (servicio de reserva o infrecuente), clase B (servicio ligero), clase C (servicio moderado), clase D (servicio pesado), clase E (servicio severo) y clase F (servicio severo continuo).

**Clase A (servicio detenido o infrecuente):** Esta clase de servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en instalaciones tales como centrales eléctricas, servicios públicos, salas de turbinas, salas de motores y estaciones transformadoras, donde se requiere de una manipulación precisa del equipo a bajas velocidades con largos períodos de ocio entre los levantes. Las cargas a capacidad pueden ser manipuladas por la instalación inicial del equipo y para el mantenimiento infrecuente.

**Clase B (servicio liviano):** Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de reparación, operaciones de montaje liviano, servicio de edificios, bodega, etcétera, donde los requerimientos de servicio son livianos y la velocidad es lenta. Las cargas pueden variar desde sin carga a cargas nominales totales ocasionales, con dos a cinco levantes por hora, promediando 10 pies por levante.

**Clase C (servicio moderado):** Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de tornos o salas de máquinas de molinos de papel, etc., donde los requerimientos de servicio son moderados. En este tipo de servicio la grúa puede manipular cargas que promedien un 50% de la capacidad nominal con 5 a 10 levantes por hora, promediando

**Clase D (servicio pesado):** Este servicio cubre las grúas que pueden ser usadas en talleres de máquinas pesadas, fundiciones, plantas de fa-

bricación, bodegas de acero, patios de contenedores, molinos de madera, etc., y operaciones estándares de trabajo con canasta e imán donde se requiere una producción de trabajo pesado. En este tipo de servicio, las cargas que se aproximan al 50% de la capacidad nominal serán manipuladas en forma constante durante el período de trabajo. Altas velocidades son deseables para este tipo de servicio con 10 a 20 levantes por hora, promediando 15 pies, sin exceder el 65% de los levantes a capacidad nominal.

**Clase E (servicio severo):** Este tipo de servicio requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal a través de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas con imán, canasta o una combinación de imán/canasta, para patios de desechos, molinos de cemento, molinos de madera, plantas fertilizantes, manipulación de contenedores, etc., con veinte o más levantes por hora a o alrededor de la capacidad nominal.

**Clase F (servicio severo continuo):** Este tipo de grúa requiere de una grúa capaz de manipular cargas que se aproximan a la capacidad nominal en forma continua bajo severas condiciones de servicio a lo largo de toda su vida. Las aplicaciones pueden incluir grúas de especialidad diseñadas para el cliente, esenciales para efectuar las tareas de trabajo crítico que afectan la instalación de producción completa. Estas grúas pueden proveer la más alta confiabilidad con atención especial para facilitar las características de mantenimiento

Para plantas de bombeo, este factor ya está determinado y siempre se especificará como clase A, que tipifica a las grúas utilizadas para manipular cargas de mucho valor a bajas velocidades, esto es, instalación inicial de equipos y mantenimiento poco frecuente de los mismos.

#### 4.4.3. VELOCIDADES DE OPERACIÓN

Las velocidades de operación de una grúa se aplican al izaje del gancho, al desplazamiento del carro portante (trole) del polipasto y al desplazamiento del puente.

Aquellas dependen de la clase de servicio de la grúa, su capacidad y forma de operación, donde esta última puede ser desde piso con una botonera de control colgante (estación de botones), o desde una cabina del conductor. Las velocidades recomendables para grúas, cuya aplicación es en plantas de bombeo, se presentan en la Tabla 4.1, que están catalogadas como lentas, pero son las adecuadas.

#### 4.4.4. EQUIPAMIENTO

Se refiere a los distintos subsistemas que se utilizan como parte de la grúa, tales como: tipo de carro portante (trole) del polipasto y su accionamiento, tipo de polipasto y su accionamiento y tipo de sistema impulsor para el puente.

En plantas de bombeo es recomendable que el accionamiento del carro portante del polipasto sea manual hasta una capacidad de 3 ton, mientras la altura de izaje no exceda de 4 m. Asimismo, el accionamiento del polipasto para el izaje se recomienda sea manual hasta una capacidad de 5 ton, mientras la altura de izaje no exceda de

4 m. El movimiento del puente se recomienda en todos los casos sea motorizado, para capacidades mayores de 3 ton, así como para alturas de izaje mayores de 3 m y claros mayores de 3 m.

La CMAA (Crane Manufacturers Association of America), en su norma No. 70, describe hasta seis (6) arreglos más comúnmente usados en sistemas impulsores para puentes de grúas eléctricas viajeras; éstos son: L1, L2, L3, L4, que tienen una serie de ventajas y desventajas que no son motivo de discusión en este manual, pero para el caso de plantas de bombeo, por ser el arreglo más eficiente, se recomienda el L4, que es un sistema impulsor con motor y reductor de velocidad individual acoplado en el carro cabezal ubicado en cada extremo del puente. Cuando el sistema general de la grúa sea accionado eléctricamente (izaje, traslación del polipasto, traslación del puente), es recomendable equipar dicha grúa con otros dispositivos de seguridad, tales como: freno de retención, interruptor límite y freno de contramarcha, que se definen en el glosario, ver Tabla 4.2.

#### Nota Importante:

La especificación técnica de la grúa deberá cumplir con todos los requerimientos de la especificación CMAA 70.

## 4.5. SELECCIÓN DE POLIPASTOS<sup>26</sup>

Los aspectos más importantes que hay que considerar para la selección de un polipasto son: capacidad, altura de izaje, montaje y control; además de algunos factores básicos de servicio, tales como: distribución de cargas, tiempo de operación, distribución del trabajo, arranques y paros, bajadas constantes y condiciones ambientales especiales, ver Ilustración 4.2.

### 4.5.1. CLASE

Utilizando todas las características anteriormente mencionadas, la norma mexicana (NOM-R-100) ha dividido a los polipastos por clase de servicio y áreas típicas de aplicación, para poder seleccionarlos rápidamente:

#### 4.5.1.1.Tipo

- a) Tipo 1 Eléctricos
- b) Tipo 2 Manual
- c) Tipo 3 Neumáticos o hidráulicos

Ilustración 4.2 Polipasto



#### 4.5.1.2.Subtipo

- a) Fijo
- b) Con gancho de suspensión
- c) De suspensión por medio de carro
- d) Apoyado
- e) Montaje de pared o techo

#### Nota Importante:

La especificación técnica del polipasto deberá cumplir con todos los requerimientos de la NOM R 100.

26 Fuente: NOM-R-100



## 4.6. SELECCIÓN DE ACCESORIOS<sup>27</sup>

Además del equipamiento principal ya mencionado, hay otros accesorios cuya selección es también importante, tales como: aparejo inferior (mufla), gancho, cable, cadena, eslinga y estrobo, ver Ilustración 4.3.

### 4.6.1. APAREJO PARA TODOS LOS TIPOS

Los aparejos superior e inferior deben estar provistos de guardas protectoras con objeto de evitar que el cable o cadena se zafen de las poleas o nueces respectivamente bajo condiciones normales de operación. El diámetro de paso mínimo para poleas giratorias no debe ser menor de 16 veces el diámetro del cable y en caso de poleas igualadoras (no giratorias), esta relación no debe ser menor de 12 veces al diámetro del cable. El radio mínimo de la ranura debe ser de acuerdo con la relación siguiente y la profundidad 1.5 veces el diámetro del cable al fondo de la ranura.

$r \text{ mínimo ranura} = 0.53 \text{ (diámetro nominal del cable)}$ .

### 4.6.2. GANCHO

El gancho debe cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-R-172 y estar soportado por un dispositivo que le permita girar 360° bajo carga nominal, ver Ilustración 4.4.

### 4.6.3. CABLE

Debe ser de acero y la carga mínima a la ruptura debe ser 5 veces mayor que la carga nominal entre el número de caída.

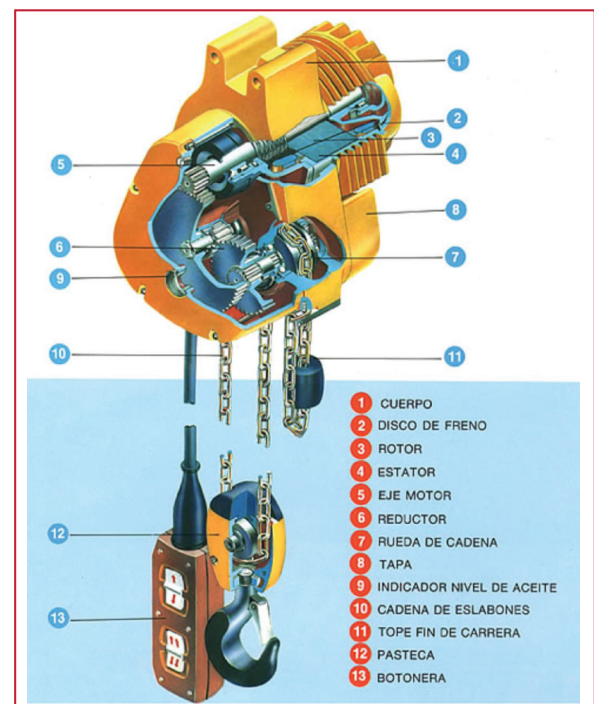
Las eslingas y los estrobos son elementos auxiliares para la sujeción de las cargas y también son fabricados con cable de acero de las características ya mencionadas, ver Ilustración 4.5

### 4.6.4. CADENA

Debe ser de acero y la carga mínima a la ruptura debe ser 5 veces mayor que la carga nominal entre el número de caída.

Para plantas de bombeo son recomendables las cadenas que se construyen en acero forjado, soldado, templado, galvanizado y en eslabones cortos ya que se adaptan mejor a los tambores de arrollamiento.

Ilustración 4.3 Accesorios polipasto



27 Fuente: NOM-R-100



Ilustración 4.4 Gancho y sujeciones de la carga

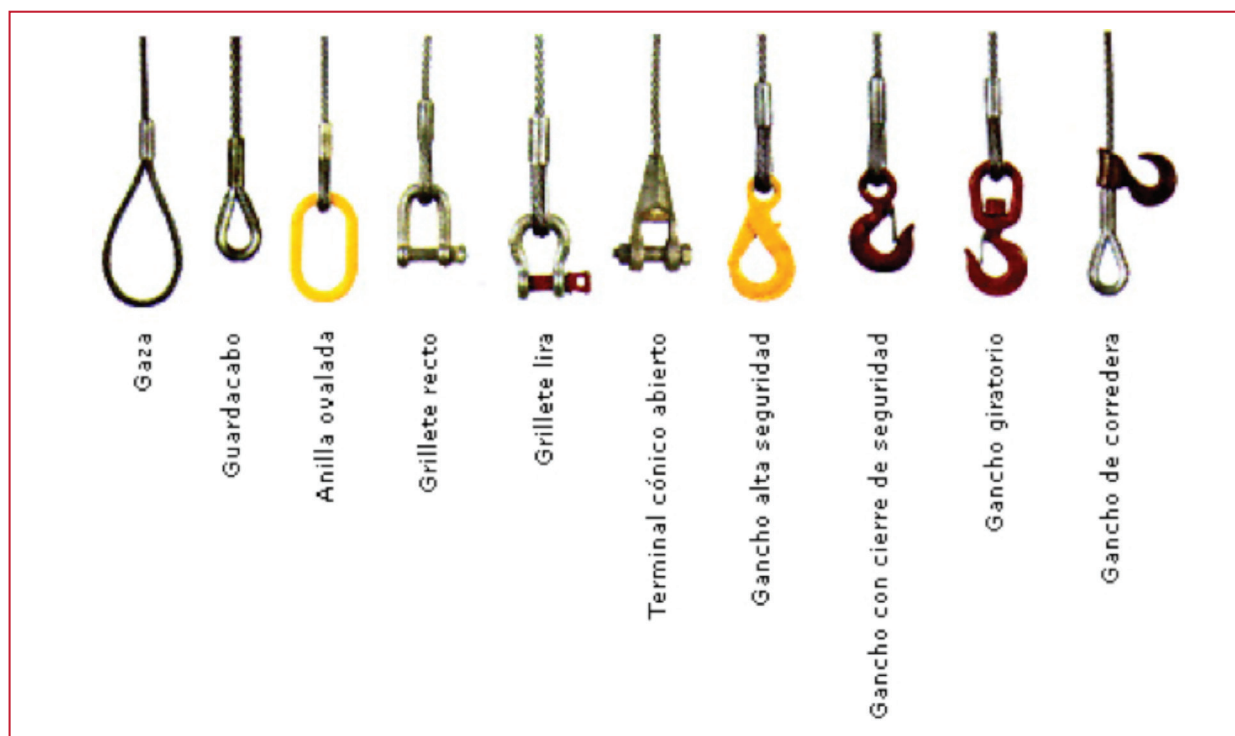


Ilustración 4.5 Eslingas tipo cable



Tabla 4.1 Velocidades de funcionamiento sugerida en (m/min) para grúas controladas desde el piso

| Capacidad en (Ton) | Izaje |       |        | Carro |       |        | Punto |       |        |
|--------------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
|                    | Lento | Medio | Rápido | Lento | Medio | Rápido | Lento | Medio | Rápido |
| 3                  | 4.27  | 10.67 | 13.72  | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 53.34  |
| 5                  | 4.27  | 8.23  | 12.19  | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 53.34  |
| 7.5                | 3.96  | 8.23  | 11.58  | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 53.34  |
| 10                 | 3.96  | 6.40  | 10.67  | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 53.34  |
| 15                 | 3.96  | 5.79  | 9.45   | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 53.34  |
| 20                 | 3.05  | 5.18  | 9.14   | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 53.34  |
| 25                 | 2.44  | 4.27  | 8.84   | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 53.34  |
| 30                 | 2.13  | 4.27  | 8.53   | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 45.72  |
| 35                 | 2.13  | 3.66  | 7.62   | 15.24 | 24.38 | 38.10  | 15.24 | 35.05 | 45.72  |
| 40                 | 2.13  | 3.66  | 7.62   | 12.19 | 21.34 | 30.48  | 12.19 | 30.48 | 45.72  |
| 50                 | 1.52  | 3.35  | 6.10   | 12.19 | 21.34 | 30.48  | 12.19 | 30.48 | 45.72  |
| 60                 | 1.52  | 2.74  | 5.49   | 12.19 | 21.34 | 30.48  | 12.19 | 22.86 | 38.10  |
| 75                 | 1.22  | 2.74  | 4.57   | 12.19 | 21.34 | 30.48  | 9.14  | 22.86 | 38.10  |
| 100                | 1.22  | 2.44  | 3.96   | 9.14  | 18.29 | 24.38  | 7.62  | 15.24 | 30.48  |
| 150                | 0.91  | 1.83  | 3.35   | 7.62  | 18.29 | 24.38  | 7.62  | 15.24 | 30.48  |

Nota: Considerar que se deben debe dar a la longitud de la pista para la velocidad de punto, lapso de punto para la velocidad del carro, viajar distancia media, y las características manchas requerido

Tabla 4.2 Definición de CMAA para clase de servicio de grúas en términos de clase de carga y ciclos de carga

| Clase se carga                   | Ciclos de carga                                                                                                                   |                                       |                                   |                                          | K= Factor de carga media efectiva |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|
|                                  | N1                                                                                                                                | N2                                    | N3                                | N4                                       |                                   |
| L1                               | A                                                                                                                                 | B                                     | C                                 | D                                        | 0.35 - 0.53                       |
| L2                               | B                                                                                                                                 | C                                     | D                                 | E                                        | 0.53 - 0.67                       |
| L3                               | C                                                                                                                                 | D                                     | E                                 | F                                        | 0.671 - 0.85                      |
| L4                               | D                                                                                                                                 | E                                     | F                                 | F                                        | 0.851 - 1                         |
|                                  | Uso irregular, ocasional seguido por largos períodos de ciclo                                                                     | Uso regular en operación intermitente | Uso regular en operación continua | Uso regular en operación severa continua |                                   |
| Clases de carga:                 |                                                                                                                                   |                                       |                                   |                                          |                                   |
| L1                               | Grúas que levantan la carga nominal en forma excepcional y, normalmente, cargas muy livianas                                      |                                       |                                   |                                          |                                   |
| L2                               | Grúas que raramente levantan la carga nominal, y las cargas normales son de alrededor de 1/3 de la carga nominal                  |                                       |                                   |                                          |                                   |
| L3                               | Grúas que levantan la carga nominal con bastante frecuencia y en forma normal, las cargas son entre 1/3 y 2/3 de la carga nominal |                                       |                                   |                                          |                                   |
| L4                               | Grúas que regularmente son cargadas a cerca de la carga nominal                                                                   |                                       |                                   |                                          |                                   |
| Ciclos de carga/vida de la grúa: |                                                                                                                                   |                                       |                                   |                                          |                                   |
| N1                               | 20,000 a 100,000 ciclos                                                                                                           |                                       |                                   |                                          |                                   |
| N2                               | 100,000 a 500,000 ciclos                                                                                                          |                                       |                                   |                                          |                                   |
| N3                               | 500,000 a 2,000,000 ciclos                                                                                                        |                                       |                                   |                                          |                                   |
| N4                               | Sobre 2,000,000 de ciclos                                                                                                         |                                       |                                   |                                          |                                   |

Fuente: CMAA-70



## CONCLUSIONES

Con el presente documento se dan a los Organismos Operadores las recomendaciones para seleccionar los materiales y aplicar los procedimientos de selección para los componentes tanto eléctricos como mecánicos de los sistemas de bombeo.

El presente libro busca ser un instrumento de referencia y consulta de los proyectistas, constructores, dependencias, empresas y organismos operadores relacionados con el sector agua potable para la elaboración de los proyectos.

La comisión nacional del agua (CONAGUA) ha desarrollado este libro para proporcionar a los organismos operadores de estos sistemas un manejo más práctico e útil para hacer la selección más idónea de estos componentes.

Cabe mencionar que este libro es complementado por otras guías que proporcionan más información relacionada a los temas contenidos en este documento como el diseño e instalación de cada uno de los elementos.

Se han recopilado el material y las normas actualizadas, tanto nacionales como extranjeras, que rigen en la materia y que se consideran útiles para el diseño de redes de distribución, procurando reunirlos en una sola publicación, dando las recomendaciones que se consideran pertinentes para lograr un buen diseño y se incluyen tablas e ilustraciones como apoyo visual de diseño al proyectista, así mismo se incluyen las referencias de la literatura consultada y que puede resultar de ayuda al usuario para lograr una mayor profundidad en algún tema en específico al aplicar sus conocimientos.

Recuerde que los procedimientos, datos, modelos matemáticos y programas de cómputo, presentados en este libro, obedecen a la experiencia vertida a lo largo del tiempo por parte de los especialistas en la materia y de los proyectos en que se han trabajado. Sin embargo, en ningún caso debe considerarse esta información, como reglamento o norma oficial, más bien debe ser considerado una guía para el proceso de diseño de redes de distribución de agua potable. Considérese que ninguna red de distribución de agua potable es igual a otra; los procedimientos, datos y resultados obtenidos, no pueden exportarse de uno a otro.

# A

## PROBLEMAS

1. Indique tres consideraciones para seleccionar un motor.

---

---

2. Explique ¿Qué es el enclaustramiento de un motor?

---

---

3. ¿Qué es la velocidad síncrona en un motor y como se calcula?

---

---

4. ¿Por qué se consideran las condiciones atmosféricas en la selección de un motor?

---

---

5. ¿Cuál es la tensión de utilización de un motor de 1000 h.p.?

---

---

6. ¿Cuántos tipos de subestación conoce?

---

---

7. ¿Cuándo es recomendable utilizar una subestación blindada en gas SF<sub>6</sub>?

---

---

8. ¿Cree usted que es necesario conocer las condiciones ambientales y el espacio donde se utilizará una subestación? (justificar respuesta).

---

---

9. Para seleccionar un transformador de distribución o de potencia ¿Es necesario conocer el nivel de aislamiento?

---

---

10. La capacidad de un transformador de distribución o de potencia depende de la carga a alimentar. (justificar respuesta).

---

---

11. ¿Qué clase de enfriamiento seleccionaría para un transformador de distribución de 300 KVA?

---

---

12. ¿Utilizaría un transformador de potencia para alimentar un tablero de alumbrado?

---

---

13. ¿Para seleccionar un transformador requiere conocer las características de operación?

---

---

14. Para seleccionar un interruptor se requiere:

---

---



15. ¿Cuáles son las tensiones máximas que deben soportar los equipos?

---

---

16. ¿Qué considerandos se deben tomar en cuenta en la selección de transformadores?

---

---

17. Para la selección de cuchillas desconectadoras se requiere conocer:

---

---

18. ¿Por qué es importante el nivel básico al impulso?

---

---

19. Para seleccionar los tableros se requiere de la tensión nominal, corriente y el grado de:

---

---

20. En la selección de equipos ¿para qué sirve conocer las condiciones atmosféricas?

---

---

21. Defina ¿Qué es la ampacidad de un conductor?

---

---

22. ¿Cree usted que es necesario realizar un proyecto eléctrico de acuerdo con la norma NOM-001-SEDE? (justifique su respuesta).

---

---



23. ¿Para seleccionar un conductor es necesario tomar en cuenta el aislamiento?

---

---

24. ¿Qué significa el calibre de un conductor?

---

---

25. ¿Usted cree que es necesario saber dónde se va a instalar un conductor?

---

---

26. ¿Cree usted que la temperatura influye en la selección de un conductor?

---

---

27. ¿Qué significa la clase de precisión?

---

---

28. ¿Para seleccionar un transformador que elementos requiere el factor de transformación?

---

---

29. Referente a transformadores de instrumentos ¿A qué se refiere la palabra carga y cuál es su unidad?

---

---

30. ¿Cuántas clases de precisión existen?

---

---

31. ¿A qué se refiere la palabra clase en la selección de un apartarrayo?

---

---

32. ¿Es necesario designar la tensión nominal en un apartarrayos?

---

---

33. ¿A qué se refiere la tensión de aguante?

---

---

34. ¿Cree que es necesario conocer el nivel de contaminación que se tiene en un sitio para seleccionar un apartarrayos?

---

---

35. Indique tres condiciones de operación en la selección de un apartarrayos.

---

---

36. ¿A qué se refiere la corriente de carga nominal?

---

---

37. Para seleccionar un corta-circuito fusible ¿Es necesario conocer la corriente interruptiva? (justifique su respuesta).

---

---

38. ¿En qué unidad se mide el nivel básico de aislamiento?

---

---

39. Un corta- circuito fusible instalado en el D.F ¿Puede ser utilizado para instalarse en Cabo San Lucas?

---

---

40. ¿Qué consideraciones se deben tomar en cuenta para la selección de Centro de Control de Motores (CCM) instalado en una planta desaladora?

---

---

41. ¿Para qué sirve un banco de baterías?

---

---

42. ¿Para qué sirve un cargador de baterías?

---

---

43. ¿Usted cree que los equipos auxiliares de control especificados para D.F., se puedan utilizar en Acapulco, Guerrero?

---

---

44. Para la correcta selección de los dispositivos de protección deben conocerse los valores que arroje un estudio de corto-circuito diga ¿Por qué?

---

---

45. Indique seis condiciones necesarias para seleccionar un arrancador.

---

---

# B

## LISTADO DE NORMAS PARA SELECCIÓN DE EQUIPO Y MATERIALES ELECTROMECAÑICOS

| Normatividad Nacional |                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NMX-J-075/1-ANCE      | Aparatos eléctricos- máquinas rotatorias - parte 1: motores de inducción de corriente alterna del tipo de rotor en cortocircuito en potencias desde 0.062 a 373 kW- especificaciones                    |
| NMX-J-098-ANCE        | Sistema eléctrico de potencia - suministro- tensión eléctrica normalizada                                                                                                                               |
| NMX-J-068-ANCE        | Tableros de alta tensión                                                                                                                                                                                |
| NMX-J-109-ANCE        | Trasformador de corriente                                                                                                                                                                               |
| NMX-J-116-ANCE        | Transformadores de distribución tipo poste y tipo subestación - especificaciones                                                                                                                        |
| NMX-J-118/1-ANCE      | Productos eléctricos - tableros de alumbrado y distribución en baja tensión - especificaciones y métodos de prueba                                                                                      |
| NMX-J-118/2-ANCE      | Tableros - tableros de distribución de baja tensión - especificaciones y métodos de prueba                                                                                                              |
| NMX-J-136-ANCE        | Abreviaturas y símbolos para diagramas ,planos y equipos eléctricos                                                                                                                                     |
| NMX-J-142/1           | Conductores - cables de energía con pantalla metálica, aislados con polietileno de cadena cruzada o a base de etileno - propileno para tensiones de 5 kv a 35 kv - especificaciones y métodos de prueba |
| NMX-J-149-ANCE        | Fusibles para media y alta tensión-parte 2: cortacircuitos fusible de expulsión-especificaciones y métodos de prueba                                                                                    |
| NMX-J-150/1-ANCE      | Coordinación de aislamiento – parte 1: definiciones, principios y reglas                                                                                                                                |
| NMX-J-150/2-ANCE      | Coordinación de aislamiento - parte 2: guía de aplicación                                                                                                                                               |
| NMX-J-168-ANCE        | Trasformadores de potencial                                                                                                                                                                             |
| NMX-J-245-ANCE        | Aisladores tipo suspensión de porcelana o vidrio templado - especificaciones y métodos de prueba.                                                                                                       |
| NMX-J-284-ANCE        | Transformadores y autotransformadores de potencia – especificaciones                                                                                                                                    |
| NMX-J-285-ANCE        | Trasformador tipo pedestal monofásico trifásico para distribución subterránea – especificaciones                                                                                                        |
| NMX-J-290-ANCE        | Productos eléctrico- Arrancadores manuales magnéticos y contactores - especificaciones y métodos de prueba                                                                                              |
| NMX-J-321-ANCE        | Apartarrayos parte 4: Apartarrayos de óxidos metálicos sin electrodos de descarga (explosores), para sistemas de corriente alterna especificaciones y métodos de prueba                                 |
| NMX-J-323-ANCE        | Cuchillas seccionadoras de operación con carga para media tensión - especificaciones y métodos de prueba                                                                                                |
| NMX-J-351-ANCE        | Trasformadores de distribución y potencia                                                                                                                                                               |
| NMX-J-409-ANCE        | Trasformadores –guía de carga de trasformadores de distribución y potencia sumergidos en aceite                                                                                                         |
| NMX-J-515-ANCE        | Equipos de control y distribución - requisitos generales de seguridad - especificaciones y métodos de prueba                                                                                            |

| Normatividad Nacional |                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NMX-J-538/1-ANCE      | Productos de distribución y de control de baja tensión - parte 1: reglas generales                                                                                                                           |
| NMX-J-538/2-ANCE      | Productos de distribución y de control de baja tensión parte 2: interruptores automáticos (norma alternativa a la nmx-j-266-ance)                                                                            |
| NMX-J-538/3-ANCE      | Productos de distribución y de control de baja tensión - parte 3: desconectadores, seccionadores, desconectadores - seccionadores y unidades combinadas con fusibles (norma alternativa a la nmx-j-162-ance) |
| NMX-J-562/1-ANCE      | Guía para la selección de aisladores con respecto a condiciones de contaminación - parte - 1: aisladores de vidrio y porcelana                                                                               |
| NMX-J-580/1-ANCE      | Ensamblajes de tableros de baja tensión - parte 1: ensambles con pruebas tipo y ensambles con pruebas tipo parciales                                                                                         |
| NOM-001-SEDE          | Instalaciones eléctricas (utilización)                                                                                                                                                                       |
| NOM-002-STPS          | Condiciones de seguridad-prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo                                                                                                                  |
| NOM-003-SEGOB         | Señales y avisos para protección civil.- colores, formas y símbolos a utilizar                                                                                                                               |
| NOM-016-ENER          | Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.                          |
| NOM-017-ENER          | Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba                                                                              |
| NOM-030-ENER          | Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba                                                                               |

| Normatividad Internacional |                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| IEEE Std 141               | Práctica recomendada para la distribución de energía eléctrica para plantas industriales                                                                                                                                                                         |
| ANSI C37.43                | Especificaciones estándar para alto voltaje expulsión, distribución de limitadores de corriente, y combinación- tipo y el poder de clase fusibles externos, con tensiones nominales desde 1 kv a 38 kv, utilizado para la protección de derivación condensadores |
| ANSI/IEEE C57.13           | Requerimientos estándar para transformadores de instrumentos                                                                                                                                                                                                     |
| ANSI-C57-16                | Reactores, requisitos, terminología y código de ensayo para limitador de corriente                                                                                                                                                                               |
| NEMA ICS-2                 | Industrial control and systems controllers, contactors and overload relays rated 600 volts                                                                                                                                                                       |
| IEEE 115                   | Recommended Practice for Sizing Nickel-Cadmium Batteries for Stationary Applications                                                                                                                                                                             |
| IEC 60071-1                | Coordinación de aislamiento - parte 1: definiciones, principios y reglas                                                                                                                                                                                         |
| IEC 60071-2                | Coordinación de aislamiento - parte 2: guía de aplicación                                                                                                                                                                                                        |
| IEEE std C37.16            | Standard for Preferred Ratings, Related Requirements, and Application Recommendations for Low-Voltage AC (635 V and below) and DC (3200 V and below) Power Circuit Breakers                                                                                      |
| IEEE Std 141               | Práctica recomendada para la distribución de energía eléctrica para plantas industriales                                                                                                                                                                         |
| IEEE Std 80                | Guía para la seguridad                                                                                                                                                                                                                                           |
| IEEE-STD-242               | Práctica recomendada para la protección y coordinación de sistemas eléctricos industriales y comerciales                                                                                                                                                         |
| NEC                        | National Electric Code                                                                                                                                                                                                                                           |
| NEMA MG1                   | Motores y generadores                                                                                                                                                                                                                                            |
| CMAA-70                    | Crane Manufacturers Association of America                                                                                                                                                                                                                       |
| ASME B31.1                 | Power Piping                                                                                                                                                                                                                                                     |

| Normatividad ANSI/HI |                                                                                                         |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANSI/HI 9.1-9.5      | Reglas generales para tipos, definiciones , aplicación, medición y documentación para equipos de bombeo |
| ANSI/HI 9.6.2        | Evaluación de cargas aplicadas en bombas rotodinámicas                                                  |
| ANSI/HI 9.6.4        | Medición y parámetros permisibles de vibración en bombas rotodinámicas                                  |
| ANSI/HI 9.6.5        | Reglas generales para el monitoreo en bombas centrifugas y verticales                                   |
| ANSI/HI 1.4.6        | Pruebas de rendimiento hidráulico en bombas rotodinámicas                                               |
| ANSI/HI 2.4          | Manual de instalación , operación, mantenimiento para bombas verticales rotodinámicas                   |
| ANSI/HI 2.3          | Diseño y aplicación para bombas verticales rotodinamicas de tipo de flujo radial, mixto y axial         |
| ANSI/HI 9.6.3        | Bombas rotodinámicas (centrifuga y vertical)- guía permitida para zona de operación                     |
| ANSI/HI 1.4          | Manual de instalación , operación, mantenimiento para bombas centrifugas rotodinámicas                  |
| ANSI/HI 1.3          | Diseño y aplicación para bombas centrifugas rotodinámicas                                               |
| ANSI/HI 1.1-1.2      | Nomenclatura y definiciones para bombas centrifugas rotodinámicas                                       |
| ANSI/HI 2.1-2.2      | Definiciones y nomenclatura para bombas verticales rotodinamicas de tipo de flujo radial, mixto y axial |
| ANSI/HI 9.6.1        | Guía de margen de NPSH para bombas rotodinámicas                                                        |





# C

## GLOSARIO

**A la vista de:** Donde se especifique que un equipo debe estar “A la vista de” otro equipo, significa que un equipo debe estar visible desde el otro equipo y que no están separados más de 15 metros uno del otro.

**A prueba de intemperie:** Construido o protegido de modo que su exposición o uso a la intemperie no impida el funcionamiento especificado. NOTA: Los equipos a pruebas de lluvia, herméticas a la lluvia o herméticas al agua pueden cumplir los requisitos de “a prueba de intemperie” cuando otras condiciones atmosféricas, diferentes a la humedad, no son un factor tales como la nieve, hielo, polvo o temperaturas extremas.

**A prueba de lluvia:** Construido, protegido o tratado de tal modo que prevenga que la lluvia interfiera con la operación satisfactoria de un aparato bajo condiciones de prueba especificadas.

**A prueba de polvo:** Construido de tal forma que el polvo no entrará dentro de la envolvente bajo condiciones de prueba especificadas.

**A tierra:** Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y

el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.

**Accesible (aplicado a los equipos):** Permite acercarse; no resguardado por puertas con cerradura, ni por elevación, ni por otros medios.

**Accesible (aplicado a los métodos de alambrado):** Se puede quitar o exponer sin causar daño a la estructura o al acabado del edificio, o que no está permanentemente encerrado dentro de la estructura o del acabado del edificio.

**Accesible, fácilmente:** Es posible aproximarse rápidamente para la operación, reposición o inspecciones, sin que aquellos que requieran acceso tengan necesidad de escalar o quitar obstáculos, ni recurrir a escaleras portátiles, sillas o bancos.

**Acometida aérea:** Conductores en sistema aéreo, que van desde el poste más cercano u otro soporte aéreo del suministrador, hasta el punto de recepción del suministro.

**Acometida subterránea:** Conductores en sistema subterráneo que van desde el registro más cercano u otro soporte subterráneo del suministrador, hasta el punto de recepción del suministro.



**Acometida:** Conductores eléctricos que conectan la red de distribución del suministrador, al punto de recepción del suministro en la instalación del inmueble a servir.

**Acuífero:** Cualquier formación geológica por la que circulan o se almacenan aguas.

**Ajustable:** Calificativo que indica que el interruptor automático puede ajustarse para que dispare a varios valores de corriente, de tiempo o de ambos, dentro de un rango predeterminado.

**Ajuste:** El valor de corriente, de tiempo o de ambos, a los cuales se regula el disparo de un interruptor automático ajustable.

**Alimentador:** Todos los conductores de un circuito entre el equipo de acometida o la fuente de un sistema derivado separado u otra fuente de alimentación y el dispositivo final de protección contra sobrecorriente del circuito derivado.

**Ampacidad:** Corriente máxima que un conductor puede transportar continuamente, bajo las condiciones de uso, sin exceder su rango de temperatura.

**Aparato a prueba de explosión:** Aparato encerrado en una envolvente capaz de soportar la explosión de un gas o vapor específico que pueda ocurrir en su interior, y de prevenir la ignición de un gas o vapor específico que rodee la envolvente, por chispas, arcos o explosión del gas o vapor del interior de la envolvente y que opera con temperaturas externas tales que no puede provocar la ignición de una atmósfera inflamable que le rodee.

**Aparato:** Equipo de utilización, que usualmente se fabrica en tamaños y tipos normalizados y que se instala o conecta como una unidad para realizar una o más funciones, como lavar ropa, acondicionar aire, mezclar alimentos, freír, etcétera.

**Automático:** Realizar una función sin necesidad de intervención humana.

**Balastro:** Dispositivo electromagnético, electrónico o híbrido que por medio de inductancias, resistencias y/o elementos electrónicos (transistores, tiristores, etc.), solos o en combinación limitan la corriente de lámpara y cuando es necesario la tensión y corriente de encendido. Los balastros electromagnéticos e híbridos tienen una frecuencia de salida de 60 Hz. Los balastros electrónicos son aquellos que internamente tienen al menos un convertidor de frecuencia.

**Base de la lámpara autobalastada:** Base rosca tipo Edison o bayoneta que conecta al dispositivo a través del casquillo tipo Edison o bayoneta en luminarios para lámparas incandescentes o portalámparas

**Bomba:** Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua.

**Cable de acometida:** Conductores de acometida en forma de cable.

**Caja de derivación:** Parte de un sistema de canalización con tubería de cualquier tipo para proporcionar acceso al interior del sistema de alambrado por medio de una cubierta o tapa removible. Podrá estar instalada al final o entre partes del sistema de canalización.

**Caja de desconexión (baja tensión):** Envolverte diseñada para montaje superficial que tiene puertas abatibles o cubiertas superficiales sujetas en forma telescópica a las paredes de las cajas.

**Caja de paso:** Parte de un sistema de canalización con tubería de cualquier tipo para proporcionar acceso al interior del sistema de alambrado por medio de una cubierta o tapa removible. Podrá estar instalada al final o entre partes del sistema de canalización. NOTA: Las cajas comúnmente denominadas FS y FD o de dimensiones mayores, de metal fundido o cajas de lámina metálica, no se clasifican como cajas de paso.

**Canalización:** Canal cerrado de materiales metálicos o no metálicos, expresamente diseñado para contener alambres, cables o barras conductoras, con funciones adicionales. Las canalizaciones incluyen, pero no están limitadas a, tubo conduit rígido metálico, tubo conduit rígido no metálico, tubo conduit metálico semipesado, tubo conduit flexible hermético a los líquidos, tuberías metálicas flexibles, tubo conduit metálico flexible, tuberías eléctricas no metálicas, tuberías eléctricas metálicas, canalizaciones subterráneas, canalizaciones en pisos celulares de concreto, canalizaciones en pisos celulares de metal, canaletas, ductos y electroductos.

**Carga a la descarga:** Es la distancia vertical entre el eje de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.

**Carga (eléctrica):** Es la potencia instalada o demandada en un circuito eléctrico.

**Carga continua:** Carga cuya corriente máxima circula durante tres horas o más.

**Carga de a la succión:** Es la presión disponible o requerida para forzar un gasto determinado, en litros por segundo, a través de la tubería de succión, al ojo del impulsor, cilindro o carcasa de una bomba, se da en metros del líquido manejado, equivalente a presión, requeridos para forzar el líquido de la bomba.

**Carga de fricción:** Es la columna en metros del líquido que se maneja, equivalente y necesario para vencer la resistencia de las tuberías de succión y descarga y de sus accesorios. Varía de acuerdo con la velocidad del líquido, tamaño, tipo y condiciones interiores de las tuberías y naturaleza del líquido que se maneja.

**Carga de velocidad:** Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento.

**Carga estática total:** Es la distancia vertical entre los niveles de succión.

**Carga estática:** Es la altura, expresada en metros líquido, de la columna de fluido que actúa sobre la succión (entrada) o descarga (salida de una bomba).

**Carga no lineal:** Carga donde la forma de onda de la corriente en estado estable no sigue la forma de onda de la tensión aplicada. NOTA: Ejemplos de cargas que pueden ser no lineales: equipo electrónico, alumbrado de descarga eléctrica/electrónica, sistemas de velocidad variable, hornos de arco y similares.

**Carga:** Es el contenido de energía mecánica que requiere la bomba para mover el agua desde el nivel dinámico hasta el punto final.

**Centro de control de motores (CCM):** Conjunto de una o más secciones encerradas, que

tienen barras conductoras comunes y que contienen principalmente unidades para el control de motores.

**Circuito de control remoto:** Cualquier circuito que controle a otro circuito a través de un relevador o un dispositivo equivalente.

**Circuito de señalización:** Cualquier circuito que suministre energía eléctrica a equipos de señalización.

**Circuito derivado de uso general:** Circuito que alimenta a dos o más salidas para alumbrado y aparatos.

**Circuito derivado individual:** Circuito que alimenta a un solo equipo de utilización.

**Circuito derivado multiconductor:** Circuito que consta de dos o más conductores de fase con una diferencia de potencial entre ellos, y un conductor puesto a tierra que tiene la misma diferencia de potencial entre él y cada conductor de fase del circuito y que está conectado al neutro o al conductor puesto a tierra del sistema.

**Circuito derivado para aparatos:** Circuito derivado que suministra energía eléctrica a una o más salidas a las que se conectan aparatos; tales circuitos no deben contener elementos de alumbrado conectados permanentemente que no forman parte del aparato.

**Circuito derivado:** Conductor o conductores de un circuito desde el dispositivo final de sobrecorriente que protege a ese circuito hasta la(s) salida(s).

**Clavija:** Dispositivo que por medio de su inserción en un contacto establece una conexión

entre los conductores del cordón flexible y los conductores permanentemente conectados al contacto.

**Conductor con aislamiento:** Conductor rodeado de un material de composición y espesor como aislamiento eléctrico.

**Conductor cubierto:** Conductor rodeado de un material de composición o espesor como aislamiento eléctrico.

**Conductor de puesta a tierra de los equipos:** Trayectorias conductoras utilizadas para conectar las partes metálicas, que normalmente no conducen corriente, de todos los equipos y al conductor del sistema puesto a tierra o al conductor del electrodo de puesta a tierra o a ambos.

**Conductor de puesta a tierra:** Conductor utilizado para conectar un equipo o el circuito puesto a tierra de un sistema de alambrado al electrodo o electrodos de puesta a tierra.

**Conductor del electrodo de puesta a tierra:** Conductor utilizado para conectar el conductor puesto a tierra del sistema o el equipo, al electrodo de puesta a tierra o a un punto en el sistema del electrodo de puesta a tierra.

**Conductor desnudo:** Conductor que no tiene ningún tipo de cubierta o aislamiento eléctrico.

**Conductor neutro:** Conductor conectado al punto neutro de un sistema que está destinado a transportar corriente en condiciones normales.

**Conductor puesto a tierra:** Conductor de un sistema o de un circuito, intencionadamente puesto a tierra.

**Conductores de acometida, sistema aéreo:**

Conductores de acometida comprendidos entre las terminales del equipo de acometida y un punto comúnmente fuera del edificio, y separado de sus paredes, donde se unen por derivación o empalme a la bajada de la acometida aérea.

**Conductores de acometida, sistema subterráneo:**

Conductores de acometida comprendidos entre las terminales del equipo de acometida y el punto de conexión con la acometida subterránea.

**Conductores de acometida:** Conductores comprendidos desde el punto de acometida hasta el medio de desconexión de la instalación.

**Conector a presión (sin soldadura):** Dispositivo para establecer una conexión entre dos o más conductores o entre uno o más conductores y una terminal por medio de presión mecánica, sin utilizar soldadura.

**Contacto (Receptáculo):** Dispositivo de conexión eléctrica instalado en una salida para la inserción de una clavija. Un contacto sencillo es un dispositivo de un solo juego de contactos. Un contacto múltiple es aquel que contiene dos o más dispositivos de contacto en el mismo chasis o yugo.

**Controlador:** Dispositivo o grupo de dispositivos para gobernar, de un modo determinado, la energía eléctrica suministrada al aparato al cual está conectado.

**Coordinación (selectiva):** Localización de una condición de sobrecorriente para restringir interrupciones del circuito o del equipo afectado, lo cual se logra con la selección de los dispositivos

de protección contra sobrecorriente y sus ajustes o valores nominales.

**Corriente continua:** Se denomina también corriente directa y ambos términos pueden emplearse para la identificación o marcado de equipos, aunque debe tenderse al empleo de corriente continua, que es el normalizado nacional e internacionalmente.

**Corriente de arranque (rotor bloqueado):** Es la corriente que demanda el motor al arrancar, y que corresponde a condiciones de rotor bloqueado o velocidad cero. Aplicando tensión y frecuencia eléctricas nominales.

**Corriente de cortocircuito:** Posible corriente de falla simétrica a la tensión nominal, a la cual un aparato o un sistema puede estar conectado sin sufrir daños que excedan los criterios de aceptación definidos.

**Corriente de interrupción:** Corriente máxima a la tensión que un dispositivo, es capaz de interrumpir bajo condiciones de prueba normalizadas. NOTA: Los dispositivos diseñados para interrumpir corriente de otros niveles distintos a los de falla, pueden tener su capacidad de interrupción expresada en otros parámetros como: kilovoltamperes, caballos de fuerza o corriente a rotor bloqueado.

**Corriente eléctrica:** Su unidad práctica es el ampere. Es la intensidad de corriente que pasa a través de un conductor con resistencia  $R$  y cuya diferencia de potencial entre sus extremos es  $V$ .

**Cortacircuito en aceite:** Dispositivo en el cual todo o parte de la base del fusible y su elemento fusible o cuchilla de desconexión están total-

mente sumergidos en aceite, los contactos y la parte fusible del elemento conductor (elemento fusible) de modo que la interrupción del arco, ya sea por la ruptura del elemento fusible o la apertura de los contactos ocurran dentro del aceite.

**Cortacircuito:** Conjunto formado por un soporte para fusible con portafusible o una cuchilla de desconexión. El portafusible puede incluir un elemento conductor (elemento fusible) o puede actuar como cuchilla de desconexión mediante la inclusión de un elemento conductor no fusible

**Cuchilla desconectadora:** Dispositivo capaz de cerrar, conducir e interrumpir corrientes especificadas.

**De disparo instantáneo:** Calificativo que indica que deliberadamente no se introduce un retardo en la acción de disparo del interruptor automático.

**De tiempo inverso:** Calificativo que indica que deliberadamente se introduce un retardo en la acción de disparo del interruptor automático, retardo que disminuye a medida que aumenta la magnitud de la corriente.

**Desconectador de aislamiento en derivación:** Dispositivo operado manualmente usado en conjunto con un interruptor de transferencia para constituir un medio para conectar directamente los conductores de carga a la fuente de alimentación y aislar el interruptor de transferencia

**Desconectador de aislamiento:** Dispositivo diseñado para aislar un circuito eléctrico de su fuente de alimentación. No tiene capacidad interruptiva y está diseñado para operar solamente después de que el circuito ha sido abierto por otro medio.

**Desconectador de puenteo de regulador:** Dispositivo específico o combinación de dispositivos diseñados para puentear un regulador de tensión.

**Desconectador de transferencia:** Dispositivo automático o no automático para transferir una o más conexiones de los conductores de carga de una fuente de alimentación a otra

**Desconectador de uso general de acción rápida:** Dispositivo de uso general construido de manera que pueda instalarse en cajas de dispositivos o sobre tapas de caja o utilizado junto con sistemas de alambrado reconocidos

**Desconectador de uso general:** Dispositivo para uso en circuitos de distribución general y circuitos derivados. Se denomina en amperes y es capaz de interrumpir su corriente nominal a su tensión nominal

**Desconectador en aceite:** Desconectador que tiene los contactos sumergidos en aceite o en cualquier otro líquido aislante adecuado.

**Desconectador para circuito de motor:** Dispositivo cuya potencia es expresada como capacidad en kilowatts o caballos de fuerza y que es capaz de interrumpir la máxima corriente de operación en sobrecarga de un motor a tensión nominal

**Desconectador separador (de aislamiento):** Dispositivo mecánico de desconexión que aísla un circuito o equipo de una fuente de energía.

**Dispositivo de interrupción:** Dispositivo diseñado para cerrar, abrir o ambos, uno o más circuitos eléctricos.

**Dispositivo:** Elemento de un sistema eléctrico que su principal función es conducir o controlar energía eléctrica.

**Edificio o edificación:** Estructura independiente o que está separada de otras estructuras adyacentes por medio de muros divisorios y que cuenta en todas sus aberturas con puertas.

**Encerrado:** Rodeado por una carcasa, caja, cerca o pared para prevenir que las personas tengan contacto accidental con partes energizadas.

**Energizado(a):** Es, o está conectado(a) a una fuente de tensión.

**Ensamble de salidas múltiples:** Canalización superficial, empotrada o autosoportada diseñada para contener conductores y contactos, ensamblados ya sea en sitio o en fábrica.

**Envolvente:** Caja o chasis de un aparato o la cerca o paredes que rodean una instalación para prevenir que las personas tengan contacto accidental con partes energizadas o para protección de los equipos contra daño físico.

**Equipo de acometida:** Equipo necesario para servir de control principal y que usualmente consiste en un interruptor automático o desconectador y fusibles, con sus accesorios, localizado cerca del punto de entrada de los conductores de suministro a un edificio u otra estructura o a un área definida.

**Equipo de comunicaciones:** Equipo electrónico que ejecuta las operaciones de telecomunicaciones para la transmisión de audio, video y datos, incluye equipo de potencia (por ejemplo conver-

tidores, inversores y baterías) y equipo de soporte técnico (como computadoras).

**Equipo de recepción del suministro:** Equipo necesario para servir de control principal y que usualmente consiste en un interruptor automático o desconectador y fusibles, con sus accesorios, localizado al final de los conductores de recepción del suministro.

**Equipo de utilización:** Equipo que utiliza la energía eléctrica para propósitos de electrónica, electro-mecánicos, químicos, de calefacción, de alumbrado y otros similares.

**Equipo sellable:** Equipo con envolvente en forma de caja o gabinete provisto de medios de bloqueo o sello de manera que las partes energizadas no sean accesibles sin abrir la envolvente. El equipo puede o no ser accionable sin abrir la envolvente.

**Equipo:** Término general para referirse a: herramientas, dispositivos, aparatos, luminarias, aparatos y productos similares utilizados como partes de, o en conexión con, una instalación eléctrica.

**Estructura:** Aquello que se ha edificado o construido.

**Etiquetado:** Equipo o materiales que tienen adherida una etiqueta, símbolo u otra marca de identificación de un organismo acreditado o dependencia que mantiene un programa de inspecciones periódicas al equipo o material etiquetado, y que es aceptable para el organismo acreditado que se ocupa de la evaluación del producto. Con la etiqueta, símbolo u otra marca de identificación mencionada, el fabricante o



proveedor señala que el equipo o material cumple con las normas aplicables o señala el comportamiento con los requisitos especificados.

**Expuesto (aplicado a métodos de alambrado):** Colocado sobre o fijado a la superficie o detrás de tableros diseñados para permitir el acceso.

**Expuesto (aplicado a partes vivas):** Que una persona puede inadvertidamente tocarlo o acercarse a una distancia menor que la distancia de seguridad. Se aplica a las partes que no están adecuadamente resguardadas, separadas o aisladas.

**Factor de demanda:** Relación entre la demanda máxima de un sistema o parte del mismo, y la carga total conectada al sistema o la parte del sistema considerado.

**Frecuencia de rotación:** Es el número de revoluciones por unidad de tiempo a las que gira el conjunto bomba-motor, expresada en la práctica en r/min (revoluciones por minuto).

**Frente muerto:** Sin partes vivas expuestas a una persona en el lado de operación del equipo.

**Fusible accionado electrónicamente:** Dispositivo de protección contra sobrecorriente que consiste generalmente de un módulo de control el cual proporciona las características sensoras de corriente, características tiempo-corriente electrónicamente derivadas, energía para iniciar el disparo y un módulo de interrupción que interrumpe la corriente cuando se produce una sobrecorriente. Estos fusibles pueden operar o no como fusibles tipo limitador, dependiendo del tipo de control seleccionado.

**Fusible de potencia con escape controlado:** Fusible con medios para controlar la descarga generada por la interrupción del circuito de manera que no se puedan expulsar materias sólidas a la atmósfera que lo rodea.

**Fusible de potencia no ventilado:** Fusible que no tiene un medio intencional para el escape a la atmósfera de gases, líquidos o partículas sólidas producidos por el arco durante la interrupción del circuito.

**Fusible de potencia ventilado:** Fusible con medios para el escape a la atmósfera de gases, líquidos o partículas sólidas producidas por el arco durante la interrupción del circuito.

**Fusible múltiple:** Ensamble de dos o más fusibles unipolares.

**Fusible:** Dispositivo de protección contra sobrecorriente con una parte que se funde cuando se calienta por el paso de una sobrecorriente que circule a través de ella e interrumpe el paso de la corriente. NOTA: El fusible comprende todas las partes que forman una unidad capaz de efectuar las funciones descritas y puede ser o no el dispositivo completo requerido para conectarlo a un circuito eléctrico.

**Gabinete:** Envolvente diseñada para montaje superficial o empotrado, provista de un marco, montura o bastidor en el que se instalan o pueden instalarse una o varias puertas de bisagra.

**Hermético a la lluvia:** Construido o protegido de tal manera que la exposición a la lluvia batiente no dé como resultado la entrada de agua bajo condiciones de prueba especificadas.

**Hermético al agua:** Construido para que la humedad no entre en la envolvente, en condiciones específicas de prueba.

**Hermético al polvo:** Construido de modo que el polvo no entre en la envolvente en condiciones especificadas de prueba.

**Herraje:** Contratuercas, pasacables (monitor) u otra parte de un sistema de alambrado, destinada principalmente para desempeñar una función más mecánica, que eléctrica.

**Identificado (aplicado a los equipos):** Reconocido como adecuado para un propósito, función, uso, entorno o aplicación, específicos, cuando se describe en un requisito particular. NOTA: La adecuación de un equipo para un propósito, uso, entorno o aplicación específicos puede ser determinada por un organismo acreditado para la evaluación de la conformidad del producto. La identificación puede evidenciarse por medio de una marca de conformidad.

**Interruptor automático:** Dispositivo diseñado para abrir o cerrar un circuito por medios no automáticos y para abrir el circuito automáticamente cuando se produzca una sobrecorriente predeterminada, sin dañarse a sí mismo, cuando se aplica correctamente dentro de su rango. NOTA: El medio de apertura automática puede ser integral, que actúa directamente sobre el interruptor automático, situado a distancia del mismo.

**Interruptor de circuito por falla a tierra:** Dispositivo diseñado para la protección de personas, que funciona para desenergizar un circuito o parte del mismo, dentro de un periodo determinado, cuando una corriente a tierra excede un

valor predeterminado, menor que el necesario para accionar el dispositivo de protección contra sobrecorriente del circuito de alimentación.

**Interruptor de potencia:** Dispositivo de interrupción capaz de conectar, conducir e interrumpir corrientes bajo condiciones normales del circuito y conectar, conducir corrientes por un tiempo especificado e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas del circuito, como las de cortocircuito.

**Inversor interactivo con el suministrador:** Inversor proyectado para su uso en paralelo con el suministrador, para alimentar cargas comunes y que puede entregar energía a la empresa suministradora.

**Lámpara fluorescente compacta autobalastada (LFCA):** Unidad en la que no se puede separar la lámpara del balastro sin ser dañada permanentemente, provista con una base y la incorporación de una lámpara fluorescente compacta y los elementos adicionales necesarios para su encendido y funcionamiento estable.

**Lámpara fluorescente compacta:** Lámpara de descarga eléctrica en vapor de mercurio a baja presión en la cual la emisión principal de luz proviene de un recubrimiento de material fluorescente. Se caracteriza por presentar sus terminales eléctricas en un extremo de la lámpara y por incluir una o más zonas frías para controlar la presión del vapor de mercurio.

**Lámpara fluorescente:** Una lámpara de descarga eléctrica de vapor de mercurio a baja presión en la que un recubrimiento fluorescente transforma parte de la energía ultravioleta generada por la descarga, en luz visible.



**Líquido volátil inflamable:** Líquido con punto de ignición menor a 38 °C. Líquido cuya temperatura está por encima de su punto de ignición, o un combustible líquido con una presión de vapor no mayor que 276 kilopascales a 38 °C y cuya temperatura está por encima de su punto de ignición.

**Lugar húmedo:** Lugares protegidos de la intemperie y que no están sometidos a saturación con agua u otros líquidos pero están expuestos a grados moderados de humedad. Ejemplos de tales lugares incluyen sitios parcialmente protegidos bajo aleros, marquesinas, porches techados abiertos y lugares similares y lugares interiores sujetos a un grado moderado de humedad como algunos sótanos, graneros y almacenes refrigerados.

**Lugar mojado:** Instalación subterránea o de baldosas de concreto o mampostería, que está en contacto directo con el terreno o un lugar sometido a saturación con agua u otros líquidos, tal como área de lavado de vehículos o un lugar expuesto a la intemperie y no protegido.

**Lugar seco:** Lugar que normalmente no está húmedo o sujeto a ser mojado. Un local clasificado como seco puede estar temporalmente húmedo o sujeto a ser mojado, como en el caso de un edificio en construcción.

**Luminaria:** Unidad completa de iluminación que consiste en una fuente de luz, con una o varias lámparas, junto con las partes diseñadas para posicionar la fuente de luz y conectarla a la fuente de alimentación. También puede incluir las partes que protegen la fuente de luz o el balastro y aquellas para distribuir la luz. Un portalámpara por sí mismo no es una luminaria.

**Marcado (aplicado a marca de conformidad):** Equipo o materiales que tienen adherida una etiqueta, símbolo u otra marca de identificación de un organismo acreditado o dependencia que mantiene un programa de inspecciones periódicas al equipo o material etiquetado, y que es aceptable para el organismo que se ocupa de la evaluación de la conformidad del producto. Con la etiqueta, símbolo u otra marca de identificación mencionada, el fabricante o proveedor indica que el equipo o material cumple con las normas aplicables o su buen funcionamiento bajo requisitos específicos.

**Medio de desconexión:** Dispositivo o conjunto de dispositivos u otros medios por los cuales los conductores de un circuito pueden ser desconectados de su fuente de alimentación.

**Medios de desconexión:** Un dispositivo o conjunto de dispositivos u otros medios en los cuales los conductores del circuito pueden ser desconectados desde su fuente de alimentación.

**Motor abierto:** Es un motor que tiene aberturas para ventilación que permiten el paso del aire exterior de enfriamiento, sobre y a través del embobinado del motor.

**Motor cerrado:** Es un motor cuya armazón impide el intercambio libre de aire entre el interior y el exterior de este, sin llegar a ser hermético. Dentro de esta clasificación se incluyen los motores a prueba de explosión.

**Motor de inducción:** Es un motor eléctrico en el cual solamente una parte, el rotor o el estator, se conecta a la fuente de energía y la otra trabaja por inducción electromagnética.

**Motor eléctrico:** Es una máquina rotatoria para convertir energía eléctrica en mecánica.

**Motor eléctrico:** Máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

**Motor tipo jaula de ardilla:** Es un motor de inducción, en el cual los conductores del rotor son barras colocadas en las ranuras del núcleo secundario, que se conectan en circuito corto por medio de anillos en sus extremos semejando una jaula de ardilla.

**Nivel de referencia:** Es el plano inferior de la placa base y es la referencia para todas las mediciones hidráulicas.

**Nivel dinámico:** Es la distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.

**Nivel freático:** Nivel superior de la zona saturada, en el cual el agua, contenida en los pozos, se encuentra sometida a la presión atmosférica.

**No accesible (aplicado a un lugar):** Las personas no pueden tener acceso fácil, a menos que utilicen medios de acceso especiales.

**No ajustable:** Calificativo que indica que el interruptor automático no puede ajustarse para cambiar el valor de la corriente a la cual dispara o el tiempo requerido para su operación.

**No automático:** Requiere de intervención humana para realizar una función.

**No puesto a tierra:** No conectado a tierra ni a un cuerpo conductor que extienda la conexión a tierra.

**Oculto:** Que resulta inaccesible por la estructura o acabado del edificio. Los conductores en canalizaciones ocultas son considerados ocultos, aunque se hacen accesibles al sacarlos de las canalizaciones.

**Operable desde el exterior:** Capaz de ser operado sin que el operario esté expuesto al contacto con partes vivas.

**Panel:** Placa, entrepaño, tramo, segmento, cuadro o compartimento.

**Partes vivas:** Componentes conductores energizados.

**Permeabilidad:** Capacidad de un material para transmitir un fluido.

**Persona calificada:** Persona con habilidades y conocimientos relacionados con la construcción y el funcionamiento de las instalaciones y los equipos eléctricos y que ha recibido capacitación en seguridad para reconocer y evitar los peligros implicados.

**Plenum:** Compartimento o plenum a la que están conectados uno o más ductos de aire y que forma parte del sistema de distribución de aire.

**Portalámparas:** Portalámparas de base tipo Edison de un luminario para lámparas incandescentes o lámparas eléctricas portátiles que puede acoplarse para alimentar a una lámpara autobalastada o a un adaptador de lámpara.

**Potencia de entrada al motor:** Es la potencia, en watt, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba y en operación normal.

**Pozo de absorción:** Obra de ingeniería diseñada especialmente para infiltrar agua de lluvia al subsuelo, constituida por una captación o alcantarilla, una caja desarenadora y una caja de infiltración; esta última funciona como pozo o puede derivar sus excedentes a uno. En este tipo de pozos no se controla la calidad del agua, ya que ésta es infiltrada en la zona no saturada en la que se espera se obtenga una depuración adicional antes de llegar al acuífero.

**Protección de falla a tierra de equipos:** Sistema diseñado para proteger a los equipos contra daños por corrientes de falla entre línea y tierra, que hacen funcionar un medio de desconexión que desconecta los conductores no puestos a tierra del circuito con falla. Esta protección es activada a niveles de corriente menores a los necesarios para proteger a los conductores contra daños mediante la operación de un dispositivo de protección contra sobre corriente del circuito de alimentación.

**Protector térmico (aplicado a motores):** Dispositivo de protección, que se monta como parte integral de un motor o motor-compresor y el cual, cuando se utiliza de manera apropiada, protege al motor contra sobrecalentamientos peligrosos debido a sobrecargas o fallas de arranque. NOTA: El protector térmico puede consistir de uno o más elementos sensores integrados al motor o motor-compresor y un dispositivo externo de control.

**Protegido térmicamente (aplicado a motores):** Las palabras “protegido térmicamente”, en la placa de datos del motor o motor-compresor, indican que el motor tiene un protector térmico incorporado.

**Puente de unión, circuito:** Conexión entre partes de un conductor en un circuito para mantener la ampacidad requerida por el circuito.

**Puente de unión, equipo:** Conexión entre dos o más partes del conductor de puesta a tierra del equipo.

Puente de unión, principal: **Conexión en la acometida** entre el conductor del circuito puesto a tierra y el conductor de puesta a tierra del equipo.

**Puente de unión, sistema:** Conexión entre el conductor puesto a tierra del circuito y el conductor de puesta a tierra del lado del suministrador, o el conductor puesto a tierra del equipo, o ambos, a un sistema derivado separado.

**Puente de unión:** Conductor confiable, para asegurar la conductividad eléctrica requerida entre partes metálicas que deben estar conectadas eléctricamente.

**Puesto a tierra eficazmente:** Conectado (conexión) a tierra intencionalmente a través de una conexión o conexiones a tierra que tengan una impedancia suficientemente baja y ampacidad, que prevengan la formación de tensiones peligrosas para las personas o para los equipos conectados.

**Puesto a tierra sólidamente:** Conectado a tierra sin insertar ningún dispositivo de resistencia o de impedancia.

**Puesto a tierra:** Conectado (conexión) a tierra o a algún cuerpo conductor que extienda la conexión a tierra.

**Punto de acometida:** Punto de conexión entre las instalaciones del suministrador y las del usuario, el cual se localiza en el equipo de medición cuando éste se encuentra en el inmueble, y en caso de que el medidor se encuentre en la red del suministrador, el punto de recepción del suministro es en el medio de desconexión.

**Punto neutro:** Punto común en una conexión en estrella en un sistema polifásico, o punto medio en un sistema monofásico de 3 hilos, o punto medio de una porción monofásica de un sistema trifásico en delta, o punto medio de un sistema de corriente continua de 3 hilos. NOTA: En el punto neutro del sistema, la suma vectorial de las tensiones de todas las otras fases dentro del sistema que utiliza el neutro, con respecto al punto neutro, es cero.

**Registro:** Envolvente para uso en sistemas subterráneos que tienen un fondo abierto o cerrado, dimensionado de tal forma que permite al personal alcanzar lo que hay dentro, pero no ingresar en él, con el propósito de instalar, operar o mantener el equipo o el alambrado, o ambos.

**Rejilla; cedazo:** Ademe con aberturas de forma, tamaño y espaciamiento diseñados en función de las características granulométricas del acuífero, que permite el paso del agua al interior del pozo.

**Resguardado:** Cubierto, blindado, cercado, encerrado, o protegido de otra manera por medio de cubiertas o tapas adecuadas, barreras, rieles, pantallas, placas o plataformas para evitar la posibilidad de acercamiento o contacto de personas u objetos a un punto peligroso.

**Retardante de flama:** Característica de un material con aditivo, formulación o mezclas de

compuestos químicos incorporados para reducir la inflamabilidad de un material o para demorar la combustión del mismo.

**Salida de fuerza:** Conjunto con envolvente que puede incluir contactos, interruptores automáticos, portafusibles, desconectores con fusibles, barras conductoras de conexión común y bases para montaje de medidores de energía; diseñado para suministrar y controlar el suministro de energía a casas móviles, paraderos para remolques, vehículos de recreo, remolques o embarcaciones; o para servir como medio de distribución de la energía necesaria para operar equipo móvil o instalado temporalmente.

**Salida para alumbrado:** Salida diseñada para la conexión de un portalámparas, una luminaria.

**Salida para contactos:** Salida en la que están instalados uno o más contactos.

**Salida:** Punto en un sistema de alambrado en donde se toma corriente para alimentar a un equipo de utilización.

**Servicio continuo:** Operación a una carga prácticamente constante durante un tiempo indefinidamente largo.

**Servicio intermitente:** Operación por intervalos que alternan de: con carga y sin carga; con carga y en reposo, con carga, sin carga y en reposo

**Servicio periódico:** Operación intermitente en el que las condiciones de carga son regularmente recurrentes.

**Servicio por tiempo corto:** Operación a una carga prácticamente constante durante un tiempo especificado, corto y definido

**Servicio variable:** Funcionamiento a cargas e intervalos de tiempo, donde ambos pueden variar dentro de una amplia gama.

**Sistema de alambrado de usuarios:** Alambrado interior y exterior incluyendo circuitos de fuerza, alumbrado, control y señalización con todos sus herrajes, accesorios y dispositivos de alambrado asociados, ya sean permanentes o temporalmente instalados, que parten desde el punto de acometida de los conductores del suministrador o fuente de un sistema derivado separado hasta las salidas. Dicho alambrado no incluye el alambrado interno de aparatos, luminarias, motores, controladores, centros de control de motores y equipos similares.

**Sistema de bombeo:** Es el conjunto motor eléctrico, bomba y conductos que se instalan para la extracción y manejo de cualquier tipo de aguas subterráneas que puedan ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento.

Sistema derivado separado: Sistema de alambrado de una propiedad, cuya alimentación procede de una fuente de energía o equipo diferente a la alimentación del suministrador. Tales sistemas no tienen conexión eléctrica entre los conductores de un circuito de un sistema a los conductores de un circuito de otro sistema, exceptuando las conexiones a través de la tierra, cubiertas de metal, canalizaciones metálicas, o conductores de puesta a tierra de equipo.

**Sistema interactivo:** Sistema de generación de energía eléctrica que está operando en paralelo con y que puede suministrar energía al sistema de la fuente primaria de alimentación.

**Sistema solar fotovoltaico:** El total de componentes y subsistemas que, combinados, convier-

ten la energía solar en energía eléctrica apropiada para conectar una carga de utilización.

**Sobrecarga:** Operación de un equipo por encima de su capacidad normal, a plena carga, o de un conductor por encima de su capacidad que, cuando persiste durante un tiempo suficientemente largo, podría causar daños o un calentamiento peligroso. Una falla, como un cortocircuito o una falla a tierra, no es una sobrecarga.

**Sobrecorriente:** Cualquier corriente que supere la corriente nominal de los equipos o la capacidad de un conductor. La sobrecorriente puede provocarse por una sobrecarga, un cortocircuito o una falla a tierra. NOTA: Una corriente en exceso de la nominal puede ser absorbida por determinados equipos y conductores para un conjunto de condiciones dadas. Por eso, las reglas para protección contra sobrecorriente son específicas para cada situación particular.

**Sólidamente puesto a tierra:** Significa que el conductor puesto a tierra (neutro) lo está sin necesidad de intercalar ninguna resistencia o dispositivo de impedancia.

**Suministrador:** Compañía de servicio público (CFE) o autorizada por la LSPEE, encargada del abastecimiento de energía eléctrica para su utilización.

Suministro ininterrumpido de energía: Un suministro de energía que se utiliza para proporcionar una fuente alterna de alimentación por algún período de tiempo en el caso de una interrupción del suministro normal. NOTA: Además, puede proporcionar una alimentación de tensión y frecuencia más constante, reduciendo los efectos de variaciones de tensión y frecuencia.

**Tablero de alumbrado y control:** Panel sencillo o grupo de paneles unitarios diseñados para ensamblarse en forma de un solo panel, accesible únicamente desde el frente, que incluye barras conductoras de conexión común y dispositivos automáticos de protección contra sobrecorriente y otros dispositivos de protección, y está equipado con o sin desconectores para el control de circuitos de alumbrado, calefacción o fuerza; diseñado para instalarlo dentro de un gabinete o caja de cortacircuitos ubicada dentro o sobre un muro o pared divisora y accesible únicamente desde el frente (véase Tablero de distribución).

**Tablero de distribución:** Panel grande sencillo, estructura o conjunto de paneles, donde se montan, por el frente o por la parte posterior o por ambos lados: desconectores, dispositivos de protección contra sobrecorriente y otras protecciones, barras conductoras de conexión común y usualmente instrumentos. Los tableros de distribución son accesibles generalmente por la parte frontal y la posterior, y no están destinados para ser instalados dentro de gabinetes.

**Tablero de potencia con envolvente metálico:** Tablero totalmente cerrado por todos los lados y la parte superior con láminas metálicas (excepto por las aberturas de ventilación y las ventanas de inspección) y que contiene principalmente dispositivos de desconexión o de interrupción de potencia, con barras conductoras y conexiones. El ensamble puede incluir dispositivos de control y auxiliares. El acceso al interior del envolvente es por puertas, cubiertas removibles, o ambas. Los tableros de potencia con envolvente metálico se pueden conseguir en construcciones resistentes o no resistentes al arco.

**Tensión (de un circuito):** La mayor diferencia de potencial (tensión rms) entre dos conductores cualesquiera de un circuito considerado.

**Tensión a tierra:** En los circuitos puestos a tierra, es la tensión entre un conductor dado y el punto o conductor del circuito que está puesto a tierra; en circuitos no puestos a tierra es la mayor diferencia de potencial entre un conductor dado y cualquier otro conductor del circuito. NOTA: Algunos sistemas, como los de 3 fases 4 hilos, de 1 fase 3 hilos y de corriente continua de 3 hilos, pueden tener varios circuitos a diferentes tensiones.

**Tensión nominal:** Valor nominal asignado a un circuito o sistema para designar convenientemente su clase de tensión. La tensión a la cual un circuito opera puede variar de la nominal, dentro de un margen que permite el funcionamiento satisfactorio de los equipos.

**Transformador de distribución tipo pedestal:** Conjunto formado por un transformador de distribución con un gabinete integrado en el cual se incluyen accesorios para conectarse en sistemas de distribución subterránea, este conjunto está destinado para instalarse en un pedestal y para servicio en intemperie.

**Transformador de distribución tipo poste:** Es aquel transformador de distribución que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para sujetarse o instalarse en un poste o en alguna estructura similar.

**Transformador de distribución tipo subestación:** Es aquel transformador de distribución



que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para ser instalado en una plataforma, cimentación o estructura similar y su acceso está limitado por un área restrictiva.

**Transformador de distribución tipo sumergible:** Es aquel transformador de distribución que por su configuración externa está dispuesto en forma adecuada para ser instalado en un pozo o bóveda y que está expuesto a sufrir inundaciones.

**Transformador de distribución:** Es aquel transformador que tiene una capacidad nominal desde 5 hasta 500 kVA y una tensión eléctrica nominal de hasta 34 500 V en el lado primario y hasta 15 000 V nominales en el lado secundario.

**Transformador:** Dispositivo eléctrico que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica de uno o más circuitos, a uno o más circuitos a la misma frecuencia, usualmente aumentado o disminuyendo los valores de tensión y corriente eléctricas.

**Tubo conduit:** Sistema de canalización diseñado y construido para alojar conductores en instalaciones eléctricas, de forma tubular, sección circular.

**Unidad fusible de expulsión:** Fusible ventilado en el cual el efecto de expulsión de los gases producidos por el arco y el revestimiento del portafusible, solo o con la ayuda de un resorte, extingue el arco.

**Unidad fusible de potencia:** Unidad fusible ventilada, no ventilada o de ventilación controlada en la cual el arco se extingue a través de un material sólido, granular o líquido, con o sin la ayuda de resorte.

**Viscosidad:** La viscosidad es aquella propiedad del fluido mediante la cual este ofrece resistencia al esfuerzo cortante. La viscosidad de un gas se incrementa con la temperatura, mientras que la de un líquido disminuye. Estas variaciones causadas por la temperatura pueden explicarse examinando las causas de la viscosidad. Por consiguiente la cohesión parece ser la causa predominante de la viscosidad en un líquido y puesto que disminuye con la temperatura, la viscosidad también lo hace. La viscosidad es prácticamente independiente de la presión y depende únicamente de la presión y depende únicamente de la temperatura. La viscosidad cinemática de los líquidos y de los gases a una presión dada es sustancialmente una función de la temperatura.

#### NOTA IMPORTANTE:

Para abundamiento consulte los glosarios de las normas NOM, NMX, IEEE, IES y las indicadas en este libro.

# D

## NOTAS ACLARATORIAS

Además de los temas presentados, existen otros parámetros y consideraciones que involucran la instalación y montaje de equipo electromecánico que no se indican en este libro. Sin embargo esto no significa que no sean importantes o imprescindibles en la selección de equipos.

Para garantizar el éxito de la instalación, montaje y funcionamiento de los equipos electromecánicos, la metodología a utilizar para la selección de estos debe estar fundamentada y apegada a las especificaciones de diseño y las condiciones del sitio de donde se instalará el equipo. En todo caso deberá atenderse la normatividad vigente, nacional e internacional; y debe tenerse en cuenta que la normatividad presentada en este libro solo representa una pequeña porción del total de normas existentes y disponibles para la selección de equipo electromecánico.

### NOTA IMPORTANTE:

Este libro, así como el MAPAS en su conjunto, debe tomarse como una introducción a los criterios de selección de equipos electromecánicos en los sistemas de agua potable y debe tenerse muy en cuenta que la información presentada no es de ninguna forma absoluta y no debe tomarse como ley o norma obligatoria que deba cumplirse o limitarse a lo expuesto en este documento.





# E

## BIBLIOGRAFÍA

- CFE V4200-25. (2006). Cuchillas Desconectadoras de 15 kV a 145 kV con Accionamiento Manual.
- AWWA E 101. (n.d.). Vertical turbine pumps-line shafts and sumersibles types.
- AWWA, E101-88 ANSI . (n.d.). Standard for Vertical Turbine Pumps - Line Shaft and Submersible Types.
- CFE 08-00-00. (n.d.). Normas de distribución – construcción – instalaciones aéreas en media y baja tensión equipo eléctrico.
- CFE 08-00-01. (n.d.). Generalidades.
- CFE K0000-07. (2007). Normas de distribución – construcción – instalaciones aéreas en media y baja tensión equipo eléctrico. Especificación.
- CFE V4200-12. (2003). Cuchillas desconectadoras de aire 72.5 A 420 KV con accionamiento controlado.
- CFE V6700-62. (2006). Tableros de protección, control y medición para subestaciones eléctricas.
- CFE V7200-48. (2008). Cargador de baterías-especificaciones.
- CFE-K0000. (2013). Transformadores y autotransformadores de potencia.
- CMAA. (n.d.). Crane Manufacturers Association of America en su norma No. 70.
- DCDSET01, CFE. (2014). Diseño de subestaciones de transmisión especificación.
- Hoist Manufacturers Institute. (n.d.). Standard Specifications for Electric Chain Hoists, HMI 100. Pensilvania 15238, Pitsburg.
- Hoist Manufacturers Institute. (n.d.). Standard Specifications for Electric Wire Rope Hoists, HMI 100. Pennsylvania, Pitsburg.
- IACS. (n.d.). International Annealed Copper Standard.
- Igor J., K. (n.d.). Centrifugal pump clinic.
- Ion. I, I. (n.d.). Pump and puping.
- IUSA. (n.d.). Línea de equipos de protección y desconexión para alta y media tensión y transformadores.
- Jhon L. Dicmas. (n.d.). Vertical turbine, Mixed flow and Propeller pumps.
- KSB. (2010). Centrifugal pumps.
- Mueller, J. (n.d.). Lessons from Crane Runways. AISC Engineering Journal. Jan.
- NRF-026-C.F.E. (2004). Transformador de potencial.
- NRF-026-C.F.E. (2004). Transformador de corriente
- NRF-004-C.F.E. (2007). Apartarrayos. Transformadores de distribución.
- NRF-003-CFE. (2000). Apartarrayos de óxido metálico para subestación.

- NRF-006-CFE. (2002). Aisladores de Suspensión Sintéticos para Tensiones de 13,8 a 138 kV.
- NRF-029-CFE. (2006). Corta fusible de distribución.
- NRF-196-PEMEX. (2013). Cargador de batería.
- Mott- (2006). Mecánica de fluidos
- Organización panamericana de la salud. (2005) Guía para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, proyecto (OPS/CEPIS/05.161 UNATSABAR).
- Otto J. H. Verne H. , S., & Joseph C., S. (n.d.). Improving well and pump efficiency. American water works association.
- Robert L. Sanks. (n.d.). Pumping stations design.
- Seale. (n.d.). Filler or Warrington Cable acerado.

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 2.1 Sección de motor eléctrico                                                                                                         | 6   |
| Ilustración 2.2 Motores verticales                                                                                                                 | 7   |
| Ilustración 2.3 Diseño NEMAS alto par de rotor y baja corriente a) Nema A, b) Nema B,<br>c) Nema C y d) Nema D                                     | 9   |
| Ilustración 2.4 Seccionador fusible trifásico y su presentación                                                                                    | 11  |
| Ilustración 2.5 Disyuntor magnético trifásico y su presentación                                                                                    | 11  |
| Ilustración 2.6 Distintos modelos de disyuntores magnetotérmicos trifásicos y su representación                                                    | 11  |
| Ilustración 2.7 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante<br>disyuntor magnético trifásico y seccionador fusible | 13  |
| Ilustración 2.8 Esquema de conexión para la puesta en marcha de un motor trifásico mediante disy<br>untor magnético térmico                        | 13  |
| Ilustración 2.9 Vida promedio aproximada de los devanados de un motor en función de la clase<br>de aislamiento y la temperatura de operación       | 15  |
| Ilustración 2.10 Temperatura para las distintas clases de aislamiento                                                                              | 16  |
| Ilustración 2.11 Resistencia anti-condensación                                                                                                     | 19  |
| Ilustración 2.12 Chumacera y rodamiento                                                                                                            | 20  |
| Ilustración 2.13 Subestación                                                                                                                       | 57  |
| Ilustración 2.14 Cuarto de control eléctrico en un nivel                                                                                           | 59  |
| Ilustración 2.15 Cuarto de control eléctrico en dos nivel                                                                                          | 59  |
| Ilustración 2.16 Subestación SF <sub>6</sub>                                                                                                       | 61  |
| Ilustración 2.17 Transformador de distribución y transformador de potencia resistencia<br>anti-condensación                                        | 81  |
| Ilustración 2.18 Transformador de distribución                                                                                                     | 82  |
| Ilustración 2.19 Transformador de potencia                                                                                                         | 82  |
| Ilustración 2.20 Interruptor                                                                                                                       | 96  |
| Ilustración 2.21 Aislador tipo suspensión con acoplamiento de horquilla - ojo                                                                      | 114 |
| Ilustración 2.22 Aislador con acoplamiento calavera y bola (perfil normal y anticontaminación)                                                     | 114 |
| Ilustración 2.23 Cuchillas de CFE                                                                                                                  | 117 |
| Ilustración 2.24 Cuchilla tripolar                                                                                                                 | 119 |
| Ilustración 2.25 Cuchilla unipolar o monopolar                                                                                                     | 119 |
| Ilustración 2.26 Cuchilla de apertura vertical (TTR6) para distribución y transmisión                                                              | 119 |
| Ilustración 2.27 Cuchilla de apertura lateral central (DRV) para distribución y transmisión                                                        | 119 |
| Ilustración 2.28 Cuchilla de doble apertura lateral central                                                                                        | 119 |

|                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 2.29 Cuchilla COGC                                                                                                                                                                                                | 119 |
| Ilustración 2.30 Tableros de media y baja tensión                                                                                                                                                                             | 131 |
| Ilustración 2.31 Tableros de media tensión                                                                                                                                                                                    | 131 |
| Ilustración 2.32 Variador de velocidad                                                                                                                                                                                        | 144 |
| Ilustración 2.33 Características constructivas de un cable de media tensión                                                                                                                                                   | 159 |
| Ilustración 2.34 Conductores de interruptor principal                                                                                                                                                                         | 159 |
| Ilustración 2.35 Transformador de instrumentos TC                                                                                                                                                                             | 189 |
| Ilustración 2.36 Límite de factor de corrección de la relación FCR y del error de fase.<br>a) Clase 0.3 b) Clase 0.6 c) Clase 1.2 d) Clase de precisión nominales<br>para transformadores de potencial utilizados en medición | 196 |
| Ilustración 2.37 Apartarrayos                                                                                                                                                                                                 | 209 |
| Ilustración 2.38 Apartarrayos de óxidos metálicos cerámica                                                                                                                                                                    | 211 |
| Ilustración 2.39 Apartarrayos polimérico                                                                                                                                                                                      | 211 |
| Ilustración 2.40 Cortacircuito fusible de potencia                                                                                                                                                                            | 217 |
| Ilustración 2.41 Componentes de un cortacircuitos fusible                                                                                                                                                                     | 218 |
| Ilustración 2.42 Cargador de baterías                                                                                                                                                                                         | 228 |
| Ilustración 2.43 Banco de baterías                                                                                                                                                                                            | 230 |
| Ilustración 2.44 Arrancador                                                                                                                                                                                                   | 247 |
| Ilustración 2.45 Arrancadores de motores trifásicos                                                                                                                                                                           | 252 |
| Ilustración 2.46 Lámparas fluorescentes                                                                                                                                                                                       | 258 |
| Ilustración 2.47 Lámparas de LED                                                                                                                                                                                              | 258 |
| Ilustración 2.48 Luminarias                                                                                                                                                                                                   | 259 |
| Ilustración 2.49 Clasificación de luminarias según la radiación del flujo luminoso                                                                                                                                            | 260 |
| Ilustración 2.50 Ejemplos de curvas fotométricas con su clasificación                                                                                                                                                         | 262 |
| Ilustración 2.51 Curva polar de intensidad en el plano que contiene la intensidad luminosa<br>máxima, que indica el ángulo utilizado para la determinación del alcance                                                        | 262 |
| Ilustración 2.52 Diagrama isocandela para el sistema C- $\gamma$                                                                                                                                                              | 263 |
| Ilustración 2.53 Diagrama polar en el sistema B- $\beta$                                                                                                                                                                      | 264 |
| Ilustración 3.1 Tipos de bombas verticales - Rotor suspendido - simple y multietápas                                                                                                                                          | 268 |
| Ilustración 3.2 Configuración general de los impulsores de bombas verticales y su<br>velocidad específica                                                                                                                     | 269 |
| Ilustración 3.3 Tipos típicos de impulsores con anillos para bombas verticales                                                                                                                                                | 271 |
| Ilustración 3.4 Tipos de bombas de impulsor suspendido                                                                                                                                                                        | 273 |
| Ilustración 3.5 Clasificación de bombas rotodinámicas entre rodamientos                                                                                                                                                       | 274 |
| Ilustración 3.6 Clasificación de bombas tipo turbina regenerativa                                                                                                                                                             | 274 |
| Ilustración 3.7 Montaje de unidad de transporte (extremo húmedo)                                                                                                                                                              | 276 |
| Ilustración 3.8 Terminal de potencia (ensamble de bastidor)                                                                                                                                                                   | 276 |
| Ilustración 3.9 Conjunto extraíble                                                                                                                                                                                            | 277 |
| Ilustración 3.10 Posición de carcasa y eje de rotación                                                                                                                                                                        | 278 |
| Ilustración 3.11 Bombas vertical, rotación de la flecha (CW)                                                                                                                                                                  | 278 |
| Ilustración 3.12 Bomba horizontal Rotación de la flecha (CW)                                                                                                                                                                  | 279 |



|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 3.13 Elevación DATUM para varios tipos de impulsores en su primera etapa                                                   | 280 |
| Ilustración 3.14 Curva típica de operación para una bomba rotodinámica con baja velocidad específica de diseño                         | 281 |
| Ilustración 3.15 Curva de la bomba contra la curva del sistema                                                                         | 286 |
| Ilustración 3.16 Curva de velocidad - par (en sistema internacional)                                                                   | 290 |
| Ilustración 3.17 Curva de velocidad - par (en sistema ingles)                                                                          | 291 |
| Ilustración 3.18 Salida del impulsor angulada                                                                                          | 293 |
| Ilustración 3.19 Bomba sumergible de pozo profundo (VS0)                                                                               | 296 |
| Ilustración 3.20 Bomba vertical de pozo profundo (VS1)                                                                                 | 297 |
| Ilustración 3.21 Bomba vertical de una sola etapa o multietapa, conjunto corto de flecha de línea abierta (VS1)                        | 298 |
| Ilustración 3.22 Bomba vertical de flujo mixto de flecha de línea abierta (VS1)                                                        | 299 |
| Ilustración 3.23 Bomba vertical de doble succión tamaño corto de flecha abierta (VS2)                                                  | 300 |
| Ilustración 3.24 Bomba vertical con impulsor de flujo axial (propela), flecha cubierta, configuración de descarga debajo de piso (VS3) | 301 |
| Ilustración 3.25 Bombas verticales de una etapa o multietapas de difusor tipo bote o barril (VS6)                                      | 302 |
| Ilustración 3.26 Bomba doble succión de una etapa o multietapas tipo barril (VS7)                                                      | 303 |
| Ilustración 3.27 Bomba vertical de multietapas de voluta o espiral (doble carcasa) tipo barril (VS7a)                                  | 304 |
| Ilustración 3.28 Bomba vertical de difusor de carcasa en línea (VS8)                                                                   | 305 |
| Ilustración 3.29 Impulsor suspendido - Acople flexible - Montada sobre marco - Etapa simple (OH0)                                      | 306 |
| Ilustración 3.30 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre marco - Etapa simple - Bomba alineada (OH0)        | 306 |
| Ilustración 3.31 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - Etapa simple (OH1)                          | 307 |
| Ilustración 3.32 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - Etapa simple (OH1)                          | 307 |
| Ilustración 3.33 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - Etapa simple - ASME B73.1 (OH1)             | 308 |
| Ilustración 3.34 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre base - autocebante - Etapa simple (OH1A)           | 308 |
| Ilustración 3.35 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal - Montada sobre pedestal - Etapa simple - API 610 (OH2)            | 309 |
| Ilustración 3.36 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - en línea - Etapa simple (OH3)                                      | 309 |
| Ilustración 3.37 Impulsor suspendido - Acople flexible - Vertical - succión inferior - Etapa simple (OH3A)                             | 309 |
| Ilustración 3.38 Impulsor suspendido - Acople rígido - Vertical - en línea - Etapa simple (OH4)                                        | 310 |
| Ilustración 3.39 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - en línea - Etapa simple (se muestra sello y enclaustramiento) (OH5) | 310 |
| Ilustración 3.40 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Succión inferior - Etapa simple - Montaje vertical (OH5A)           | 310 |

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 3.41 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Vertical - Alta velocidad               |     |
| - Etapa simple (OH6)                                                                            | 310 |
| Ilustración 3.42 Impulsor suspendido - Acople cerrado - Horizontal - Succión inferior           |     |
| - Etapa simple (OH7)                                                                            | 311 |
| Ilustración 3.43 Impulsor suspendido - Acople cerrado - sumergible - Difusor - Succión inferior |     |
| - Etapa simple (OH8A)                                                                           | 311 |
| Ilustración 3.44 Impulsor suspendido - Acople cerrado - sumergible - Voluta - Succión inferior  |     |
| - Etapa simple (OH8B)                                                                           | 311 |
| Ilustración 3.45 Impulsor suspendido - Acople flexible - Horizontal -Flujo axial                |     |
| - Etapa simple (OH00)                                                                           | 312 |
| Ilustración 3.46 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Axial (BB1)                        | 313 |
| Ilustración 3.47 Impulsor entre rodamientos - Etapa simple - Radial (BB2)                       | 313 |
| Ilustración 3.48 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Axial (BB3)                         | 314 |
| Ilustración 3.49 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa simple (BB4)       | 314 |
| Ilustración 3.50 Impulsor entre rodamientos - Multietápas - Radial - Carcasa doble (BB5)        | 315 |
| Ilustración 3.51 Turbina regenerativa - Canal lateral suspendido (RT1)                          | 315 |
| Ilustración 3.52 Turbina regenerativa - Canal periférico (RT2)                                  | 316 |
| Ilustración 3.53 Turbina regenerativa - Entre rodamientos - Canal periférico (RT4)              | 316 |
| Ilustración 3.54 Bomba tubo pitot                                                               | 317 |
| Ilustración 3.55 Válvulas                                                                       | 324 |
| Ilustración 4.1 Ejemplo de Grúas                                                                | 331 |
| Ilustración 4.2 Polipasto                                                                       | 334 |
| Ilustración 4.3 Accesorios polipasto                                                            | 335 |
| Ilustración 4.4 Gancho y sujeciones de la carga                                                 | 336 |
| Ilustración 4.5 Eslingas tipo cable                                                             | 336 |

# ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 2.1 Letras de código de indicación para rotor bloqueado                                                                                                                          | 20 |
| Tabla 2.2 Tensiones eléctricas normalizadas                                                                                                                                            | 21 |
| Tabla 2.3 Conductor del secundario                                                                                                                                                     | 22 |
| Tabla 2.4 Valores mínimos de par de arranque para motores trifásicos diseños “a” y “b”, 60 Hz<br>en porciento del par a carga plena                                                    | 22 |
| Tabla 2.5 Valores mínimos de par de arranque (a rotor bloqueado) para motores;<br>diseños “A” y “B” a 60 Hz en por ciento del par a plena carga                                        | 23 |
| Tabla 2.6 Valores máximos de la corriente de arranque en amperes, a 220 volts y 60 Hz                                                                                                  | 24 |
| Tabla 2.7 Par de rotor bloqueado de motores monofásicos                                                                                                                                | 25 |
| Tabla 2.8 Corriente a plena carga de motores monofásicos de corriente alterna                                                                                                          | 25 |
| Tabla 2.9 Corriente a plena carga para motores de dos fases de corriente alterna (4 hilos)                                                                                             | 26 |
| Tabla 2.10 Selección de medios de protección y control para motores monofásicos sumergibles                                                                                            | 27 |
| Tabla 2.11 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos<br>sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador                                        | 28 |
| Tabla 2.12 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores monofásicos<br>sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador                                        | 29 |
| Tabla 2.13 Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna                                                                                                          | 30 |
| Tabla 2.14 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles. Tipo 4                                                                                     | 31 |
| Tabla 2.15 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 6)                                                                                    | 33 |
| Tabla 2.16 Selección de medios de protección y control para motores trifásicos sumergibles (Tipo 8)                                                                                    | 35 |
| Tabla 2.17 Longitud máxima en metros del circuito derivado para motores trifásicos<br>sumergibles de acuerdo al calibre mínimo del alimentador                                         | 36 |
| Tabla 2.18 Cable Trifásico para 75 °C, 60 Hz (entrada de servicio al motor) longitud<br>máxima en metros                                                                               | 44 |
| Tabla 2.19 Eficiencia nominal y mínima asociada, en por ciento de motores de corriente alterna,<br>trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla en potencia nominal de 0.746 a 373 kW | 51 |
| Tabla 2.20 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales                                                                                          | 51 |
| Tabla 2.21 Identificación de motores abiertos o cerrados                                                                                                                               | 52 |
| Tabla 2.22 Clasificación del tipo de aislamiento de motores                                                                                                                            | 54 |
| Tabla 2.23 Clasificación de los materiales de aislamiento por su temperatura                                                                                                           | 54 |



|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 2.24 Velocidades síncronas en r/min, para motores monofásicos y trifásicos,<br>fraccionarios e integrales                                           | 55  |
| Tabla 2.25 Velocidades síncronas en r/min para motores                                                                                                    | 55  |
| Tabla 2.26 Servicio por régimen de tiempo                                                                                                                 | 55  |
| Tabla 2.27 Condiciones de servicio                                                                                                                        | 77  |
| Tabla 2.28 Valores de pruebas dieléctricas y características nominales                                                                                    | 77  |
| Tabla 2.29 Corrientes de operación y de interrupción                                                                                                      | 78  |
| Tabla 2.30 Tensiones para las funciones de control                                                                                                        | 79  |
| Tabla 2.31 Tensiones para alimentación de motores                                                                                                         | 79  |
| Tabla 2.32 Tensiones para resistencias calefactoras                                                                                                       | 79  |
| Tabla 2.33 Eficiencias mínimas en porcentaje, permitidas en transformadores de distribución                                                               | 88  |
| Tabla 2.34 Impedancia referida al devanado primario del transformador de potencia                                                                         | 88  |
| Tabla 2.35 Valores límites de impedancia                                                                                                                  | 88  |
| Tabla 2.36 Valores límites de impedancia monofásicos                                                                                                      | 89  |
| Tabla 2.37 Niveles de aislamiento para transformadores de potencia clase II                                                                               | 90  |
| Tabla 2.38 Niveles de aislamiento dieléctrico para transformador tipo seco utilizados<br>en sistemas (60Hz) con NBAI de 200kV y menores                   | 91  |
| Tabla 2.39 Capacidades normalizadas para transformadores de potencia                                                                                      | 91  |
| Tabla 2.40 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento<br>referida a una altura de 1 000 metros sobre el nivel del mar | 91  |
| Tabla 2.41 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m,<br>para transformadores sumergidos en líquido aislante       | 92  |
| Tabla 2.42 Factores de corrección de los kVA para altitudes mayores de 1 000 m                                                                            | 92  |
| Tabla 2.43 Factores de corrección de la capacidad nominal para altitudes mayores de 1 000 m                                                               | 92  |
| Tabla 2.44 Límites de elevación de temperatura                                                                                                            | 92  |
| Tabla 2.45 Factores de corrección para la rigidez dieléctrica                                                                                             | 93  |
| Tabla 2.46 Distancia de fuga para boquillas de transformadores de distribución y potencia                                                                 | 93  |
| Tabla 2.47 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores monofásicos                                                                        | 93  |
| Tabla 2.48 Accesorios y dispositivos normalizados para transformadores trifásicos mayores<br>de 150 kVA tipo subestación                                  | 94  |
| Tabla 2.49 Características de interruptores en baja tensión con dispositivo de activación (disparo)<br>instantáneo                                        | 104 |
| Tabla 2.50 Características de interruptores en baja tensión, sin dispositivo de activación (disparo)<br>instantáneo                                       | 105 |
| Tabla 2.51 Límites de temperatura y elevación para partes, materiales y dieléctricos en interruptores<br>de baja tensión en aire                          | 106 |
| Tabla 2.52 Factor de corrección de tensión                                                                                                                | 106 |
| Tabla 2.53 Factor de corrección de corriente                                                                                                              | 106 |
| Tabla 2.54 Factores de corrección de tensión                                                                                                              | 106 |
| Tabla 2.55 Factores de corrección de corriente                                                                                                            | 107 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 2.56 Clase y forma de onda de sobretensión, formas de tensiones normalizadas<br>y pruebas de tensión de aguante normalizada | 109 |
| Tabla 2.57 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría I ( $1 \text{ kV} < U_m \leq 254 \text{ kV}$ )          | 110 |
| Tabla 2.58 Niveles de aislamiento normalizado para equipo de la categoría II ( $U_m > 254 \text{ kV}$ )                           | 111 |
| Tabla 2.59 Características eléctricas, mecánicas y dimensionales                                                                  | 115 |
| Tabla 2.60 Componentes de Ilustración 2.20                                                                                        | 122 |
| Tabla 2.61 Capacidades eléctricas (corrientes nominales y momentáneas)                                                            | 122 |
| Tabla 2.62 Corrientes nominales y momentáneas                                                                                     | 123 |
| Tabla 2.63 Corrientes nominales y de corta duración de 1 segundo, para servicio interior y exterior                               | 123 |
| Tabla 2.64 Factor de corrección por altitud                                                                                       | 123 |
| Tabla 2.65 Especificación de cuchillas unipolar y monopolar CFE                                                                   | 124 |
| Tabla 2.66 Especificación de cuchillas tripolar CFE                                                                               | 125 |
| Tabla 2.67 Cuchilla TTR6 para distribución hasta 25.8 kV                                                                          | 126 |
| Tabla 2.68 Cuchilla TTR6 para sistema de transmisión                                                                              | 127 |
| Tabla 2.69 Cuchillas DRV para distribución                                                                                        | 128 |
| Tabla 2.70 Cuchilla COGC                                                                                                          | 129 |
| Tabla 2.71 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica americana                                                       | 145 |
| Tabla 2.72 Tensiones nominales y niveles de aislamiento, práctica europea                                                         | 145 |
| Tabla 2.73 Tensiones nominales, niveles de aislamiento y valores de prueba<br>dieléctrica para tableros de 15 kV a 38 kV          | 146 |
| Tabla 2.74 Valores nominales de corriente en barras colectoras y alimentadores                                                    | 146 |
| Tabla 2.75 Grados de protección                                                                                                   | 146 |
| Tabla 2.76 Características de selección de cortocircuitos en aire para tableros en media tensión                                  | 147 |
| Tabla 2.77 Componentes normales y opcionales de una subestación compacta                                                          | 148 |
| Tabla 2.78 Dimensiones de los gabinetes y transformadores                                                                         | 148 |
| Tabla 2.79 Características eléctricas principales de las subestaciones compactas                                                  | 149 |
| Tabla 2.80 Espacios mínimos necesarios ocupados por diferentes combinaciones de equipo en cm                                      | 150 |
| Tabla 2.81 Corrientes y capacidades máximas para arrancadores utilizados en cm,<br>según designación NEMA                         | 150 |
| Tabla 2.82 Tamaños combinados de interruptores y arrancadores para motores trifásicos, empleados                                  | 151 |
| Tabla 2.83 Datos de aplicación de interruptores electromagnéticos                                                                 | 152 |
| Tabla 2.84 Características de interruptores para tableros de alumbrado y distribución                                             | 153 |
| Tabla 2.85 Tensiones de operación                                                                                                 | 154 |
| Tabla 2.86 Identificación por protecciones primarias para líneas y alimentadores                                                  | 154 |
| Tabla 2.87 Identificación por Arreglo de Barras                                                                                   | 154 |
| Tabla 2.88 Identificación por equipo de Monitoreo y Medición                                                                      | 154 |
| Tabla 2.89 Identificación por tipo de construcción                                                                                | 154 |
| Tabla 2.90 Límites de elevación de temperatura                                                                                    | 155 |
| Tabla 2.91 Factores de corrección por altitud                                                                                     | 155 |
| Tabla 2.92 Descripción de diferentes tipos de cajas y gabinetes designación NOM                                                   | 156 |
| Tabla 2.93 Equivalencias entre gabinetes                                                                                          | 157 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 2.94 Aislamientos y usos, para cables de energía                                                                                                                                                                                                                   | 166 |
| Tabla 2.95 Capacidad de conducción de corrientes en amperes de conductores aislados de 0 a 2 000 V, 60°C a 90°C en canalización o directamente enterrados para una temperatura ambiente de 30°C                                                                          | 167 |
| Tabla 2.96 Factores de corrección basados en temperatura ambiente 30°C                                                                                                                                                                                                   | 168 |
| Tabla 2.97 Ampacidades permisibles de conductores individuales aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts al aire libre, basadas en una temperatura ambiente de 30 °C                                                                                        | 169 |
| Tabla 2.98 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 ° C                                                                                                                                                                                          | 170 |
| Tabla 2.99 Ampacidades permisibles de conductores aislados para tensiones hasta e incluyendo 2 000 volts, de 150 °C hasta 250 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en canalizaciones o cables y basadas en una temperatura ambiente del aire de 40 °C. | 170 |
| Tabla 2.100 Factores de Corrección basados en una temperatura ambiente de 40 °C                                                                                                                                                                                          | 171 |
| Tabla 2.101 Ampacidades permisibles de conductores aislados individuales para tensiones de hasta e incluyendo 2000 volts, de 150 °C hasta 250 °C, al aire libre con base en una temperatura ambiente del aire de 40 °C                                                   | 171 |
| Tabla 2.102 Factores de corrección para conductores aislados al aire libre                                                                                                                                                                                               | 172 |
| Tabla 2.103 Ampacidad permisible de cables monoconductores de cobre aislados en configuración tríplex al aire, con base en temperaturas del conductor de 90 °C y temperatura ambiente del aire de 40 °C.                                                                 | 172 |
| Tabla 2.104 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado mono conductor, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C                                                                                               | 173 |
| Tabla 2.105 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado, conductor de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C                                                                                       | 173 |
| Tabla 2.106 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de cobre, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C                                                                            | 173 |
| Tabla 2.107 Capacidad de conducción de corriente de un solo cable aislado de tres conductores de aluminio, en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C                                                                         | 174 |
| Tabla 2.108 Capacidad de conducción de corriente de un cable triplex o de tres cables cobre, en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°                                                                | 174 |
| Tabla 2.109 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de cobre en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 150°C y para temperatura ambiente de 40°C                                                         | 175 |
| Tabla 2.110 Capacidad de conducción de corriente de un cable aislado de tres conductores de aluminio en un solo tubo conduit en aire, para temperatura en el conductor de 90°C y para temperatura ambiente de 40°C                                                       | 175 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 2.111 Capacidad de conducción de corriente de tres cables aislados mono conductores de cobre en ductos eléctricos subterráneos (tres cables por ducto), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C                                                                            | 176 |
| Tabla 2.112 Ampacidad de tres conductores de cobre, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90 °C, temperatura del conductor de 90 °C                                              | 177 |
| Tabla 2.113 Ampacidad de tres conductores de aluminio, individualmente aislados, en ductos eléctricos subterráneos (tres conductores por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C                                              | 178 |
| Tabla 2.114 Ampacidad de tres conductores de cobre aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C    | 179 |
| Tabla 2.115 Ampacidad de tres conductores de aluminio aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores) en ductos eléctricos subterráneos (un cable por ducto eléctrico), con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C | 180 |
| Tabla 2.116 Ampacidad de conductores individuales de cobre, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperaturas del conductor de 90 °C                                                                                                         | 181 |
| Tabla 2.117 Ampacidad de conductores individuales de aluminio, aislados, directamente enterrados, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C                                                                                                       | 182 |
| Tabla 2.118 Ampacidad de tres conductores de cobre, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C                              | 183 |
| Tabla 2.119 Ampacidad de tres conductores de aluminio, aislados, alambrados dentro de una cubierta general (cable de tres conductores), enterrados directamente en la tierra, con base en una temperatura ambiente de la tierra de 20 °C, factor de carga del 100 por ciento, resistencia térmica (RHO) de 90, temperatura del conductor de 90 °C                           | 184 |
| Tabla 2.120 Propiedades comparativas de materiales empleados en la fabricación de cables eléctricos                                                                                                                                                                                                                                                                         | 185 |
| Tabla 2.121 Comparación de características entre cobre y aluminio                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 185 |
| Tabla 2.122 Pantalla de cintas vs pantalla de alambres                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 185 |
| Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 186 |
| Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 187 |

|                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 2.123 Aplicaciones y aislamientos de conductores de 600 volts (continuación)                                                                                                                                                       | 188 |
| Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial                 | 200 |
| Tabla 2. 124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación) | 201 |
| Tabla 2.124 Niveles nominales de aislamiento, relaciones de transformación preferentes, tensiones primarias nominales preferentes, pruebas y niveles básicos de aislamiento al impulso para transformadores de potencial (continuación)  | 202 |
| Tabla 2.125 Transformadores de corriente relaciones de transformación                                                                                                                                                                    | 203 |
| Tabla 2.126 Cargas nominales de precisión usuales para transformadores de potencial                                                                                                                                                      | 204 |
| Tabla 2.127 Clase de precisión para protección, en transformadores de corriente                                                                                                                                                          | 204 |
| Tabla 2.128 Cargas nominales para transformadores tipo boquilla, ventana para protección y medición con corriente nominal secundaria de 5 amps                                                                                           | 205 |
| Tabla 2.129 Consumos propios de los aparatos alimentados por transformadores de corriente                                                                                                                                                | 206 |
| Tabla 2.130 Datos de ejemplo de medición                                                                                                                                                                                                 | 206 |
| Tabla 2.131 Datos de ejemplo de relevador                                                                                                                                                                                                | 206 |
| Tabla 2.132 Datos de fabricante                                                                                                                                                                                                          | 207 |
| Tabla 2.133 Límite del incremento de temperatura en los devanados, según su clase de aislamiento, referidos a una altura de 1000 m.s.n.m., en transformadores de corriente                                                               | 207 |
| Tabla 2.134 Factores de corrección para altitudes mayores a los 1000 m.s.n.m.                                                                                                                                                            | 207 |
| Tabla 2.135 Factores de corrección para las elevaciones de temperatura en altitudes superiores a 1 000 m. sobre el nivel del mar, en transformadores de corriente                                                                        | 208 |
| Tabla 2.136 Máxima elevación de temperatura en los devanados según su clase de aislamiento referida a una altura de 1 000 m sobre el nivel del mar (transformadores de potencial)                                                        | 208 |
| Tabla 2.137 Tensiones para apartarrayos                                                                                                                                                                                                  | 213 |
| Tabla 2.138 Características eléctricas del apartarrayos                                                                                                                                                                                  | 213 |
| Tabla 2.139 Tensión de aguante al aislamiento                                                                                                                                                                                            | 214 |
| Tabla 2.140 Descarga de línea en apartarrayos de 20 000 A y 10 000A                                                                                                                                                                      | 215 |
| Tabla 2.141 Impulso de corriente de larga duración en apartarrayos de 5 000 A y 2 500 A                                                                                                                                                  | 215 |
| Tabla 2.142 Distancias de fugas recomendados                                                                                                                                                                                             | 216 |
| Tabla 2.143 Características de operación de los cortacircuitos fusible                                                                                                                                                                   | 221 |
| Tabla 2.144 Factores de corrección por altitud                                                                                                                                                                                           | 222 |
| Tabla 2.145 Capacidad para protección de corto circuito de transformadores, capacidades mínimas recomendadas                                                                                                                             | 223 |
| Tabla 2.146 Elevación de temperatura para componentes y materiales                                                                                                                                                                       | 224 |
| Tabla 2.147 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para transformadores de más de 600 volts (como porcentaje de la corriente nominal del transformador)                                                    | 225 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 2.148 Valor nominal o ajuste máximo de la protección contra sobrecorriente para los transformadores de 600 volts y menos (como un porcentaje nominal de la corriente nominal del transformador)                                                                                                                                | 226 |
| Tabla 2.149 Tensiones nominales de salida para baterías de níquel-cadmio                                                                                                                                                                                                                                                             | 234 |
| Tabla 2.150 Tensiones nominales de alimentación de cargadores de baterías                                                                                                                                                                                                                                                            | 234 |
| Tabla 2.151 Eficiencia de cargadores de batería                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 234 |
| Tabla 2.152 Clases de ciclos de operación                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 236 |
| Tabla 2.153 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo (de acuerdo con la norma IEC 60099-1)                                                                               | 244 |
| Tabla 2.154 Correspondencia entre tensiones nominales de suministro del sistema y la tensión de aguante al impulso asignada del equipo, en caso de contar con una protección contra sobretensión por apartarrayo que tiene una relación de la tensión de chispeo a la tensión asignada menor que la indicada en la norma IEC 60099-1 | 245 |
| Tabla 2.155 Tamaño de terminales                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 253 |
| Tabla 2.156 Arrancadores para motores jaula de ardilla                                                                                                                                                                                                                                                                               | 254 |
| Tabla 2.157 Tipos de envolvente                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 255 |
| Tabla 2.158 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores monofásicos                                                                                                                                                                                                                                                                 | 256 |
| Tabla 2.159 Tamaño NEMA de los arrancadores para motores trifásicos                                                                                                                                                                                                                                                                  | 256 |
| Tabla 2.160 Clasificación por tipo de las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastadas (LFCA)                                                                                                                                                                                                                                     | 265 |
| Tabla 2.161 Relación de temperatura de la envolvente del balastro versus tiempo                                                                                                                                                                                                                                                      | 265 |
| Tabla 2.162 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra polvo (1ª cifra)                                                                                                                                                                                                                                                   | 266 |
| Tabla 2.163 Clasificación EN-60598 por grado de protección contra el agua (2ª cifra)                                                                                                                                                                                                                                                 | 266 |
| Tabla 2.164 Clasificación EN-60598 contra impactos mecánicos                                                                                                                                                                                                                                                                         | 266 |
| Tabla 3.1 Nomenclatura de bombas centrifugas en orden alfabético                                                                                                                                                                                                                                                                     | 318 |
| Tabla 3.2 Equivalencia entre Normas DIN y ANSI                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 325 |
| Tabla 4.1 Velocidades de funcionamiento sugerida en (m/min) para grúas controladas desde el piso                                                                                                                                                                                                                                     | 337 |
| Tabla 4.2 Definición de CMAA para clase de servicio de grúas en términos de clase de carga y ciclos de carga                                                                                                                                                                                                                         | 337 |

# ÍNDICE ALFABÉTICO

- Aguante al impulso de corriente de larga duración 210
- Aguante del aislamiento 210
- Aisladores tipo suspensión de porcelana o de vidrio templado 112
- Aislamientos 164
- Análisis de puesta en marcha y apagado 287
- Aparejo para todos los tipos 335
- Apartarrayos de óxido metálico 209
- Banco de baterías 230
- Bancos y cargadores de baterías 227
- Banda de tiempo 98
- Bombas dimensionalmente intercambiables 275
- Bombas rotodinámicas centrifugas 272
- Bomba vertical rotodinámica 267
- Capacidad, claro e izaje 331
- Capacidad interruptiva 246
- Cargadores de baterías 227
- Clase de aislamiento 15
- Clase de enfriamiento 83
- Clase de Precisión 192
- Clasificación de grúas 331
- Consideraciones para el NPSH marginal 293
- Coordinación de aislamiento 107
- Corriente de descarga nominal 210
- Corriente interruptiva 218
- Corriente nominal 95
- Corrientes interruptivas de corto circuito 97
- Corrosión y erosión en bombas de turbina vertical 325
- Cortacircuitos fusible 217
- Cuchilla de doble apertura lateral central (TTT-7) 121
- Cuchillas seccionadoras en aire 116
- Curvas del sistema contra curva de bomba 285
- Curva velocidad - par de bomba y motor 288
- Definición de bomba rotodinámica centrifuga 272
- Definición de bomba vertical rotodinámica 267
- Eficiencia de motores de corriente alterna trifásicos de inducción 12
- Enclaustramiento 13
- Equipos auxiliares de control 235
- Factor de servicio 16
- Flujo Axial 267
- Flujo Mixto 267
- Flujo radial 267
- Grados de protección 132
- Grúas 330
- Instrumentos de gestión 1
- Interruptores 95
- Introducción a la clasificación de bombas 285
- Lámparas de alta eficiencia 257
- Lámparas de diodo emisor de luz (led) 257
- Lámparas fluorescentes 257
- Listado de normas para selección de equipo y materiales electromecánicos 347
- Luminarias 258
- Materiales para bombas verticales rotodinámicas 328
- Motores 5
- Nivel básico al impulso 117
- Nivel de contaminación 210
- Niveles de Ruido 293
- Nomenclatura de bombas centrifugas 317
- Polipasto 330
- Posición de la carcasa 277
- Presiones de bombeo 283
- Punto óptimo de eficiencia de la bomba (BEP) 281
- Recubrimientos protectores 328
- Relación de transformación 191
- Rendimiento de la bomba, criterios de selección 285
- Requisitos del sistema de bombeo 285
- Resistencia eléctrica 161
- Rotación de la flecha 278



|                                                         |     |                                                        |     |
|---------------------------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------|-----|
| Rotor descubierto y conjunto rotatorio                  | 275 | Tipo de alimentación                                   | 80  |
| Secuencias de operación                                 | 99  | Tipo de arranque                                       | 248 |
| Selección de accesorios                                 | 335 | Tipo de bloqueo                                        | 250 |
| Selección de arrancadores                               | 246 | Tipo de subestación                                    | 56  |
| Selección de Conductores                                | 143 | Tipos de bombas centrifugas                            | 272 |
| Selección de grúas                                      | 329 | Tipos de cuchillas                                     | 120 |
| Selección de Polipastos                                 | 334 | Tipos de envolvente                                    | 251 |
| Selección de tableros                                   | 122 | Tipos de equipos o dispositivos                        | 235 |
| Subestación blindada en gas SF <sub>6</sub>             | 60  | Transformadores de distribución y potencia             | 80  |
| Subestaciones abiertas                                  | 58  | Transformadores de instrumentos                        | 189 |
| Subestaciones compactas                                 | 60  | Transitorios hidráulicos                               | 286 |
| Subestaciones unitarias                                 | 76  | Tubería                                                | 324 |
| Subestación intemperie en cuadro de estructura metálica | 60  | Tubería de acero                                       | 324 |
| Subestación intemperie en marco de estructura metálica  | 60  | Tubería plástica                                       | 325 |
| Subestación intemperie en poste o marco de postes       | 58  | Válvulas                                               | 323 |
| Tableros de trasferencia                                | 142 | Variadores e inversores                                | 143 |
| Tamaño de una bomba rotodinámica centrifuga             | 275 | Velocidad                                              | 279 |
| Tensión y sobretensiones                                | 107 | Velocidades de operación                               | 333 |
| Tipo de alambrado                                       | 250 | Velocidad específica                                   | 284 |
|                                                         |     | Velocidad específica de succión                        | 284 |
|                                                         |     | Velocidad específica y velocidad específica de succión | 284 |
|                                                         |     | Velocidad síncrona                                     | 16  |



This image shows a full page of blank graph paper. The grid consists of thin, light gray horizontal and vertical lines that intersect to form small squares across the entire surface. There are no margins, text, or other markings on the paper.



