Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Eficiencia Energética, Uso Eficiente y Ahorro de la Energía

41



MÉXICO
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento

Eficiencia Energética, Uso Eficiente y Ahorro de la Energía

Comisión Nacional del Agua

www.conagua.gob.mx

Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento
Eficiencia Energética, Uso Eficiente y Ahorro de la Energía

ISBN: 978-607-626-024-1

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 VII
Objetivo general IX
Antecedentes XI

1. Instrumentos de gestión 1
    1.1. Marco jurídico 2
    1.2. Marco normativo 2
    1.3. Términos y definiciones 3
2. Administración de la energía 5
    2.1. Sistemas de gestión de la energía 5
3. Indicadores de desempeño energético 13
    3.1. Introducción 13
    3.2. Indicadores de desempeño energético en México[3] 13
4. Auditoría energética 17
    4.1. Metodología para realizar una auditoría 17
5. Calidad de la energía 21
    5.1. Conceptos generales 21
    5.2. Sistema de tierras 23
    5.3. Armónicas 23
6. Eficiencia en sistemas de bombeo 27
    6.1. Conceptos 27
    6.2. Campo de aplicación 27
    6.3. Clasificación de las bombas 27
        6.3.1. Por tipo 27
        6.3.2. Por potencia 28
    6.4. Especificación y muestreo 28
    6.5. Pruebas y requerimientos en laboratorio 28
    6.6. Condiciones para la prueba 29
    6.7. Medición de parámetros hidráulicos 30
        6.7.1. Medición del caudal a la descarga de la bomba 30
        6.7.2. Medición de gasto y frecuencia de rotación 32
        6.7.3. Medición de presión 34
        6.7.4. Medición de cargas 38
    6.8. Medición de parámetros eléctricos 41
        6.8.1. Medición de la potencia eléctrica 41
    6.9. Selección de la bomba adecuada 41
    6.10. Determinación de la eficiencia 43
    6.11. Predicción de eficiencia en bombas centrifugas 43

6.12. Factores que afectan la eficiencia 44
6.13. Factores que incrementan la eficiencia 47
6.14. Consideraciones de ingeniería y obra 48
6.15. Ejemplo de eficiencia energética de motores y bombas 51
7. Ahorro y uso eficiente de energía eléctrica 53
7.1. Sector hidráulico 53
7.2. Sector eléctrico 53
7.3. Tarifas de suministro de energía eléctrica 54
7.4. Factores que implican un mayor consumo de energía eléctrica 56
7.4.1. Factor de potencia 56
7.4.2. Armónicas 59
7.4.3. Pérdidas de potencia 59
7.4.4. Pérdidas en transformadores 60
7.4.5. Eficiencia mínima de transformadores 60
7.4.6. Reducción de la capacidad en motores 60
7.4.7. Sobredimensionamiento 64
7.5. Factores que incrementan el ahorro de energía 66
7.6. Dispositivos que reducen el consumo de energía 68
7.6.1. Controladores de demanda 68
7.6.2. Arrancadores 69
7.6.3. Motores eficientes 70
7.6.4. Bancos de capacitores 73
7.6.5. Motores síncronos 75
7.6.6. Variadores de frecuencia 76
7.6.7. Filtros 77
7.6.8. Sistemas inteligentes de alumbrado 78
7.6.9. Lámparas ahorradoras de energía 80
7.6.10. Sistemas de alumbrado por diodo Emisor de Luz 80
7.7. Diagnóstico de equipos electromecánicos 81
7.7.1. Evaluación de eficiencias de la bomba y electromecánica 82
7.7.2. Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo 82
7.7.3. Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical 83
7.7.4. Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación 83
7.7.5. Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 kW a 0.746 kW 83

7.7.6. Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0.180 kW a 1.500 kW 83
7.7.7. Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 a 373 kW 84
7.7.8. Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución 84
7.7.9. Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales 84
7.7.10. Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional 85
7.7.11. Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades 85
7.7.12. Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastradas 85
8. Fuentes de energía renovable 93
8.1. Energía eólica 94
8.2. Energía solar 95
8.2.1. Sistema fotovoltaicos 95
8.2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales energizado con granja solar en México 97
8.3. Energía hidráulica 102
8.3.1. Energía minihidráulica 102
8.4. Beneficios 102
8.5. Estrategias de fomento 103
8.6. Cambio climático 105
9. Determinación de la eficiencia energética para un sistema de bombeo 107
9.1. Mediciones 107
9.2. Inspección y operación preliminares 107
9.3. Registros 107
9.4. Observaciones durante la prueba 108
9.5. Cálculos 108
9.6. Ejemplo 108
9.6.1. Antecedentes del ejemplo 108
9.6.2. Objetivos 109
9.6.3. Objetivos específicos 110
9.6.4. Alcances y estructura del proyecto 111
9.6.5. Recolección y análisis de información existente 111
9.6.6. Campaña de medición en equipos de bombeo 112
9.6.7. Metodología para la evaluación de la eficiencia electromecánica 112
9.6.8. Medición de parámetros hidráulicos y eléctricos 112
9.6.9. Resultados de las mediciones de eficiencia electromecánica y curvas de operación 115

Conclusiones 121

Anexos

A. Problemas 123
B. Listado de normas para eficiencia energética 131
C. Pérdidas por fricción en la columna 135
D. Glosario 139
E. Notación de variables 145
F. Notas aclaratorias 147
G. Bibliografía 149
H. Tablas de conversión de unidades 151

Índice de ilustraciones 153
Índice de tablas 155
Contenido alfabético 157
Notas: 159

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


CONTINUITY
RANGE
PRESS TO TEST
INSULATION
1000 V
500 V
250 V
OFF
Ω
3M

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

México cuenta con una población cada vez más creciente, lo cual indica que de no adoptarse medidas urgentes a corto plazo del manejo sustentable de agua y energía eléctrica, los problemas actuales de suministro se tornarán críticos.

La escasez de recursos económicos y el cambio continuo del personal, ha provocado que gran parte de los organismos operadores de agua en el país, presenten deficiencias operativas para el cumplimiento de sus objetivos. Otras causas se deben principalmente, a la baja disposición de pago de los usuarios, errores de medición, tomas clandestinas, pérdidas en líneas de conducción y en la red, y en su gran mayoría, a un alto porcentaje de pago por consumo de energía eléctrica.

Alrededor del 70 por ciento de la energía generada es consumida por motores e instalaciones eléctricas, por lo que su operación y conservación representa un aspecto importante para el ahorro de energía en los sistemas de bombeo, plantas de tratamiento y potabilizadoras.

Debido a lo anterior y a los grandes problemas que enfrenta el país por un continuo crecimiento poblacional y la demanda de energía eléctrica, la Conagua fomenta el ahorro y uso eficiente de energía eléctrica en las instalaciones de los Sistemas Hidráulicos.

En este documento, se analizan los problemas más comunes que ocasionan fugas de energía en las instalaciones electromecánicas de los organismos operadores; así como, las principales tarifas de energía

eléctrica que emplea el sector hidráulico, comparación de costos, factores que implican un mayor consumo, dispositivos que reducen dicho consumo y se dan algunas recomendaciones.

La información de este libro se fundamenta en la normatividad presentada (vigente al 2014) y es una adaptación en el documento de *Eficiencia en sistemas de bombeo* y el documento *Ahorro y uso eficiente de energía eléctrica*, publicados por Conagua.

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 a la mejor práctica de la ingeniería por lo que debe considerarse solo como una guía para la mejora de eficiencia energética de los sistemas electromecánicos.

Palabras clave:

Administración de la energía, Auditoria energética, Desempeño energético, Eficiencia energética, Eficiencia eléctrica, Intensidad energética, Tarifas eléctricas.

1

Instrumentos de gestión

En la actualidad en nuestro país enfrentamos grandes problemas energéticos debido, en parte, a una población cada vez más creciente y demandante de servicios, por lo que es conveniente contar con lineamientos que permitan a los organismos operadores ser más eficientes, hacer un uso eficiente, y por ende llevar a su ahorro en proyectos energéticos, como son la instalación de Sistemas Hidráulicos. Es importante mencionar que la principal causa del desperdicio de energía es su uso irracional, ocasionado como consecuencia de malos hábitos y acciones, o por la ineficiencia de procesos, instalaciones y equipamientos.

Aunado a lo anterior 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.

Para mantener o incrementar los niveles de eficiencia de acuerdo a los parámetros de diseño en las instalaciones electromecánicas de los sistemas hidráulicos, es necesario crear y/o renovar programas de mantenimiento preventivo y de rehabilitación: tomar decisiones y darles seguimiento, además éstas, deberán ser justificadas mediante un diagnóstico realizado con base en pruebas mecánicas, eléctricas e hidráulicas, las cuales deben cumplir con la normatividad vigente.

La Comisión Nacional del Agua (Conagua), órgano Administrativo, normativo, técnico, consultivo y desconcentrado de la Secretaria 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 operado-

res en la mejor toma de decisión en la selección de equipos electromecánicos 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 aplicables 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

1.3. Términos y definiciones[1]

Este libro se fundamenta en el marco juridico y normativo presentado en los apartados anteriores y en los anexos: En estos documentos se especifican los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de la energía, con el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. Por lo cual se definen los principales términos a que se refiere en libro.

Energía. Capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar trabajo. Puede clasificarse como: electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros similares. Para el propósito de este libro, la energía se refiere a varias formas de energía, incluyendo la renovable, la que puede ser comprada, almacenada, tratada, utilizada en equipos o en un proceso o recuperada.

Objetivo energético. Resultado o logro especificado para cumplir con la política energética de la organización y relacionado con la mejora del desempeño energético

Eficiencia energética. Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía, de forma especifica para este libro puede establecerse a través de estas relaciones:

Eficiencia de conversión; energía requerida/energía utilizada; salida/entrada; valor teórico de la energía utilizada/energía real utilizada. Para ello es necesario que, tanto la entrada como la salida, se especifiquen claramente en cantidad y calidad y sean medibles.

Desempeño energético. Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía

Intensidad energética. Energía que se consume para generar un producto, que para el caso del sector hídrico puede ser volumen de agua extraída, potabilizada, desalojada o tratada, se expresa como unidades de energía por unidad de volumen (kWh/m^3)

Mejora continua. Proceso recurrente que tiene como resultado una mejora en el desempeño energético y en el sistema de gestión de la energía

El complemento de definiciones se presenta en el anexo D.

1 Fuente: Norma ISO 50001

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
ANSI/HI	Hydraulic Institute
NEMA	National Electrical Manufactures Association
ISO	International Organization for Standardization



2

Administración de la energía

El propósito es facilitar a las organizaciones establecer los sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y el consumo de la energía; siendo uno de los propósitos principales la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros impactos ambientales relacionados, así como la reducción de costos a través de una gestión sistemática de la energía, todo esto independientemente del tipo de energía utilizada. Su uso se extiende a organizaciones de todo tipo y tamaño, independientemente de sus condiciones geográficas, culturales o sociales. Su implementación exitosa depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización y, especialmente, de la alta dirección (conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos).

Los procedimientos descritos se enfocan a un sistema de gestión de la energía (SGEn) a partir del cual la organización puede desarrollar e implementar una política energética y establecer objetivos, metas, y planes de acción que tengan en cuenta los requisitos legales y la información relacionada con el uso significativo de la energía, basados en el ciclo de mejora continua (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar) denominado PHVA e incorporando la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización tal como se ilustra en la Ilustración 1.1.

2.1. Sistemas de gestión de la energía[2]

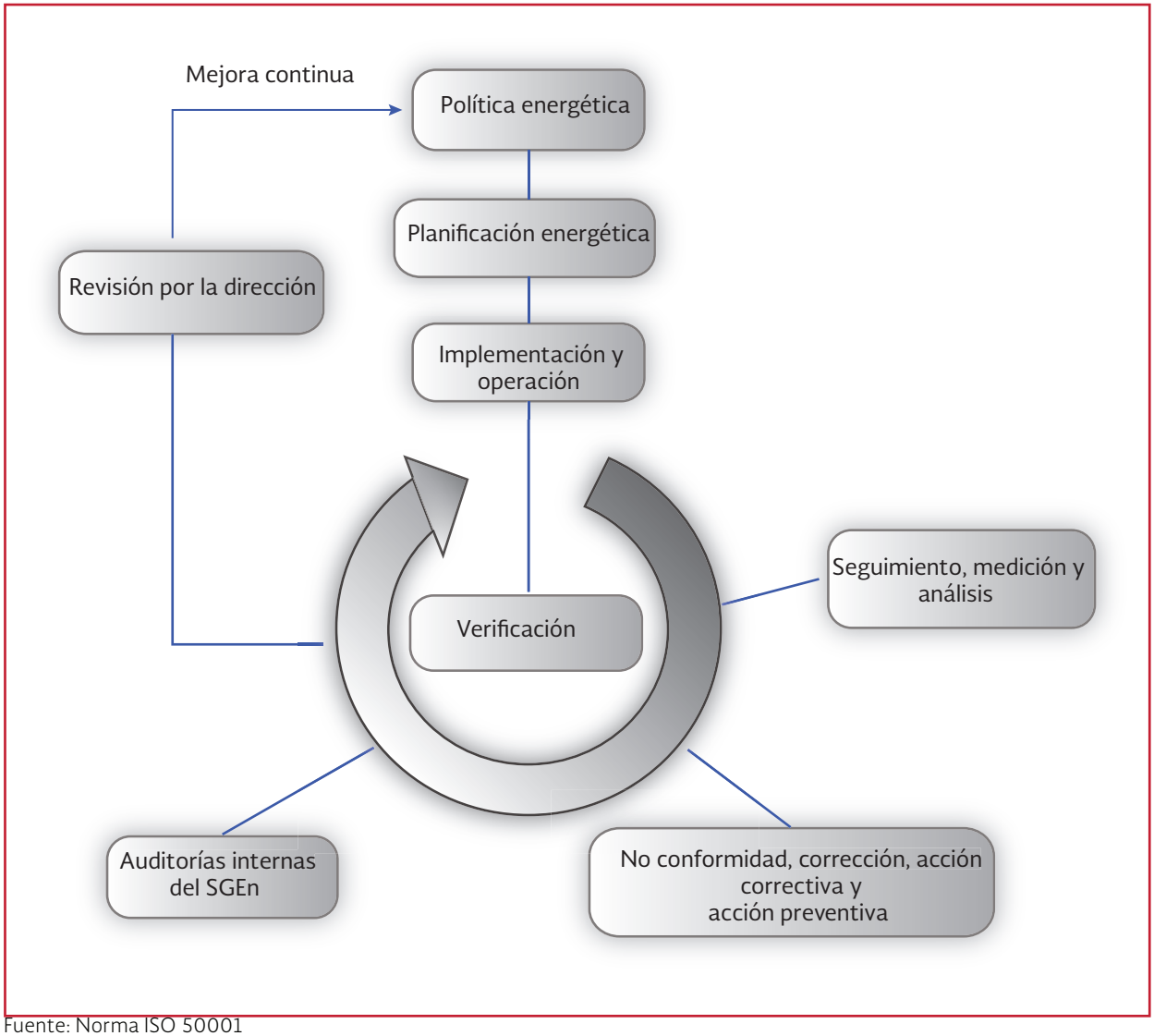
La implementación de un sistema de gestión de la energía (SGEn) se basa en la premisa de que la organización revisará y evaluará periódicamente su sistema de gestión de la energía para identificar oportunidades de mejora y su implementación.

El concepto de desempeño energético incluye el uso de la energía, la eficiencia energética y el consumo energético. De esta manera, la organización puede elegir entre un amplio rango de actividades de desempeño energético. Por ejemplo, la organización puede reducir su demanda máxima, utilizar el excedente de energía o la energía desperdiciada o mejorar las operaciones de sus sistemas, sus procesos o su equipamiento (ver Ilustración 1.2).

1. Responsabilidad de la dirección:
   a) Alta dirección. La alta dirección, o su representante, cuando se comunica en la organización, pue-

2 Fuente: Norma ISO 50001

Ilustración 1.1 Modelo de sistema de gestión de la energía

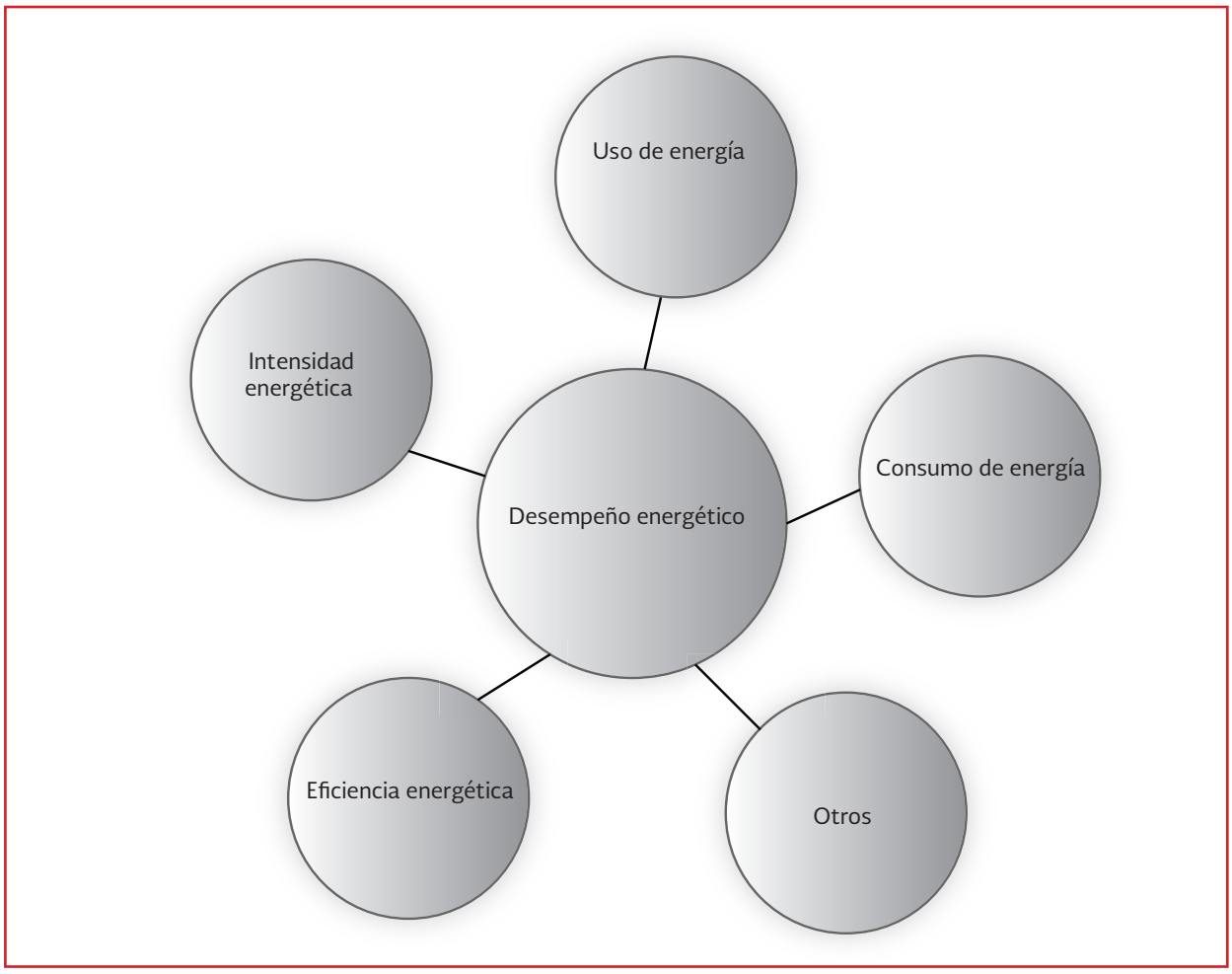


Fuente: Norma ISO 50001

de transmitir la importancia de la gestión de la energía a través de actividades de involucramiento del personal tales como delegación de autoridad, motivación, reconocimientos, formación, premios y participación. Las organizaciones que planifican a largo plazo pueden incluir aspectos de la gestión de la energía, tales como las fuentes de energía, el desempeño energético, y las mejoras del desempeño energético al planificar dichas actividades

b) Representante de la dirección. El representante de la dirección puede ser un empleado de la organización ya existente o ser incorporado o contratado específicamente para ello. Las responsabilidades del representante de la dirección pueden abarcar toda o parte de su función laboral. Las habilidades y competencias pueden determinarse en función del tamaño de la organización, de su cultura, y de su complejidad, o de los requisitos legales o de otros requisitos

Ilustración 1.2 Representación conceptual del concepto de desempeño energético



Fuente: Norma ISO 50001

El equipo de gestión de la energía asegura la realización de las mejoras en el desempeño energético. El tamaño del equipo depende de la complejidad de la organización:

- Para organizaciones pequeñas, puede ser una persona, como por ejemplo el representante de la dirección
- Para organizaciones más grandes, un equipo interdisciplinario constituye un mecanismo eficaz para comprometer las diferentes partes de la organización en la planificación e implementación del SGEn

2. Política energética. La política energética es el impulsor de la implementación y la mejora del SGEn y del desempeño energético de la organización dentro de su alcance y límites definidos. La política puede ser una breve declaración que los miembros de la organización pueden comprender fácilmente y aplicar en sus actividades laborales. La difusión de la política energética puede utilizarse como elemento propulsor para gestionar el comportamiento de la organización

Cuando la empresa contante utilice medios de transporte, el uso y el consumo de

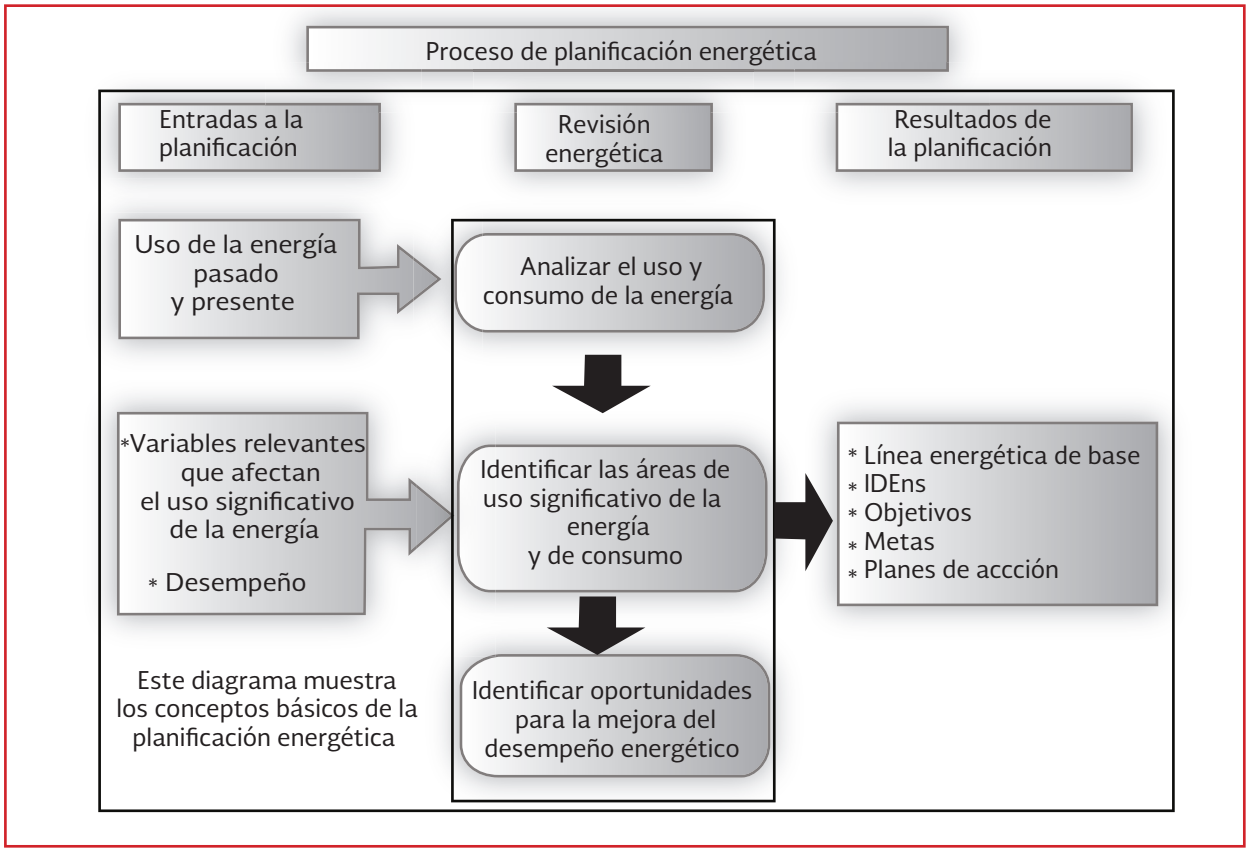
la energía del transporte pueden incluirse en el alcance y límites del SGEn

3. Planificación energética. La Ilustración 1.3 muestra un diagrama conceptual que pretende ayudar a entender el proceso de planificación energética. Este diagrama no pretende representar los detalles de una organización específica. La información de este diagrama de planificación energética no es exhaustiva y puede haber otros detalles específicos o circunstancias particulares aplicables a la organización, como se menciona a continuación:
   a) Requisitos legales y otros requisitos. Los requisitos legales aplicables son aquellos requisitos internacionales, nacionales, regionales o locales, relacionados con la energía, que aplican al alcance del sistema de gestión de la energía. Ejemplos de requisitos legales pueden incluir un reglamento o ley nacional de conservación de la energía. En cuanto a otros requisitos se pueden incluir acuerdos con los clientes, principios voluntarios o códigos de práctica, programas voluntarios, etcétera
   b) Revisión energética. El proceso de identificación y evaluación del uso de la energía deberán conducir a la organización a definir las áreas de usos significativos de la energía e identificar oportunidades para mejorar el desempeño energético
   c) Línea de base energética. Un período adecuado para los datos significa que la organización tiene en cuenta los requisitos reglamentarios o las variables que afectan al uso y al consumo de la energía. Las variables pueden incluir el clima, las estaciones, los ciclos de actividades del negocio y otras condiciones. La línea de base energética se mantiene y registra como un medio para que la organización determine el período de mantenimiento de los registros. Los ajustes en la línea de base energética también se consideran como mantenimiento
   d) Indicadores de desempeño energético. Los IDEns (valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización) pueden ser un simple parámetro, un simple cociente o un modelo complejo. Ejemplos de IDEns pueden incluir consumo de energía por unidad de tiempo, consumo de energía por unidad de producción y modelos multi-variables. La organización puede elegir los IDEns que informen del desempeño energético de su operación y puede actualizar los IDEns cuando se produzcan cambios en las actividades del negocio o en las líneas de base que afecten a la pertinencia del IDEn, según sea aplicable
   e) Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía. Además de los planes de acción enfocados en alcanzar mejoras específicas en el desempeño energético, una organización puede tener planes de acción que se focalicen en alcanzar mejoras en la gestión global de la energía o en la mejora de los procesos del propio SGEn. Los planes de acción para estas mejoras también pueden establecer la forma en que la organización verificará

los resultados alcanzados mediante el plan de acción. Por ejemplo, una organización puede tener un plan de acción diseñado para lograr una mayor toma de conciencia entre sus empleados y contratistas respecto al comportamiento relacionado con la gestión de la energía. El grado en que este plan de acción logra una mayor toma de conciencia y otros resultados debería verificarse mediante el método determinado por la organización y documentado en el plan de acción

4. Implementación y operación:
   a) Competencia, formación y toma de conciencia. La organización define los requisitos de competencia, formación y toma de conciencia basándose en sus necesidades organizacionales. La competencia está basada en una combinación apropiada de educación, formación, habilidades y experiencia
   b) Comunicación. La organización debe comunicar internamente la información relacionada con su desempeño energético y a su SGEn, de manera apropiada al tamaño de la organización
   c) Documentación. Los únicos procedimientos que tienen que documentarse son aquellos que están especificados como procedimientos documentados. La organización puede desarrollar todos aquellos

Ilustración 1.3 Diagrama conceptual del proceso de planificación energética



Fuente: Norma ISO 50001

documentos que considere necesarios para la demostración eficaz del desempeño energético y del apoyo al SGEn

d) Control operacional. Una organización debería evaluar aquellas operaciones que estén asociadas con su uso significativo de la energía y asegurar que sean llevadas a cabo de tal manera que controlen o reduzcan los impactos adversos asociados con ellas, con el fin de cumplir con los requisitos de su política energética y de alcanzar sus objetivos y metas. Esto debería incluir todas las partes de sus operaciones, incluyendo las actividades de mantenimiento
e) Diseño. La organización debe considerar las oportunidades de mejora del desempeño energético y del control operacional en el diseño de instalaciones nuevas, modificadas o renovadas, de equipos, de sistemas y de procesos que pueden tener un impacto significativo en su desempeño energético
f) Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía. Las adquisiciones brindan una oportunidad para mejorar el desempeño energético a través del uso de productos y servicios más eficientes. Constituyen también una oportunidad para trabajar con la cadena de suministros e influir sobre su comportamiento energético. La aplicabilidad de las especificaciones de compra de energía puede variar de un mercado a otro. Los elementos de la especificación de compra de energía pueden incluir, calidad de la energía, disponibilidad, estructura de costos, impacto ambiental y fuentes renovables

5. Verificación:
   a) Seguimiento, medición y análisis. La organización debe asegurar que las características clave de sus operaciones que determinan el desempeño energético se sigan, se midan y se analicen a intervalos planificados. Las características clave deben incluir como mínimo:
      - Los usos significativos de la energía y otros elementos resultantes de la revisión energética
      - Las variables pertinentes relacionadas con los usos significativos de la energía
      - Los IDEns; etcétera
   b) Evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y de otros requisitos. La organización debe evaluar, a intervalos planificados, el cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos que suscriba relacionados con su uso y consumo de la energía. Deben mantenerse registros de las evaluaciones de cumplimiento
   c) Auditorías internas del SGEn. Las auditorías internas del sistema de gestión de la energía pueden ser realizadas por personal propio de la organización o por personas externas seleccionadas por la organización, que trabajen en su nombre. En ambos casos, las personas que conducen la

auditoría deberían ser competentes y estar en una posición que les permita realizarlas imparcial y objetivamente. En organizaciones pequeñas la independencia del auditor puede demostrarse si el auditor no tiene responsabilidad en la actividad que está siendo auditada

d) No conformidades, corrección, acción correctiva y acción preventiva. La organización debe tratar las no conformidades reales y potenciales haciendo correcciones, y tomando acciones correctivas y preventivas, incluyendo las siguientes:
   - Revisión de no conformidades reales o potenciales
   - Determinación de las causas de las no conformidades reales o potenciales; evaluación de la necesidad de acciones para asegurar que las no conformidades no ocurran o no vuelvan a ocurrir; etcétera

e) Control de los registros. La organización debe establecer y mantener los registros que sean necesarios para demostrar la conformidad con los requisitos de su SGEn y de esta Norma Internacional, y para demostrar los resultados logrados en el desempeño energético

6. Revisión por la dirección:

a) Generalidades. La revisión por la dirección debería cubrir completamente el alcance del sistema de gestión de la energía, aunque no todos los elementos del sistema de gestión de la energía requieren revisarse a un mismo tiempo y el proceso de revisión puede llevarse a cabo a lo largo de un período de tiempo

b) Información de entrada para la revisión por la dirección. La información de entrada para la revisión por la dirección debe incluir:
   - Las acciones de seguimiento de revisiones por la dirección previas
   - La revisión de la política energética
   - La revisión del desempeño energético y de los IDEns relacionados
   - Los resultados de la evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y cambios en los requisitos legales y otros requisitos que la organización suscriba
   - El grado de cumplimiento de los objetivos y metas energéticas
   - Los resultados de auditorías del SGEn
   - El estado de las acciones correctivas y preventivas
   - El desempeño energético proyectado para el próximo período
   - Las recomendaciones para la mejora

c) Resultados de la revisión. Los resultados de la revisión por la dirección deben incluir todas las decisiones y acciones relacionadas con:
   - Cambios en el desempeño energético de la organización
   - Cambios en la política energética;
   - Cambios en los IDEns
   - Cambios en los objetivos, metas u otros elementos del sistema de gestión de la energía, coherentes con

el compromiso de la organización con la mejora continua

- Cambios en la asignación de recursos

- Cambios en los objetivos, metas u otros elementos del sistema de gestión de la energía, coherentes con el compromiso de la organización con la mejora continua

3

Indicadores de desempeño energético

3.1. Introducción

Los indicadores de desempeño energético, por lo general, se expresan mediante una relación de unidades de energía sobre unidades de producción, superficie o servicio. Estos indicadores son una referencia para la estandarización de los costos de energía y para utilizar la información en la identificación de oportunidades de mejora y, en su caso, cuando se quieran compartir buenas prácticas (SENER, 2014). El primer paso de la selección es la realización de un listado de IDEn correspondientes a la organización. El equipo de gestión de la energía necesita documentar los conceptos y metodologías que se apliquen para identificar, capturar y realizar los ahorros de energía.

De acuerdo con cada actividad del sector, hay que seleccionar de los distintos tipos de indicadores, el que mejor se adapte al aspecto que se quiere evaluar y corresponda al sector de la organización.

3.2. Indicadores de desempeño energético en México[3]

En la Tabla 3.2 y la Tabla 3.3, se muestran los resultados de intensidad energética y consumo energético anual, respectivamente, para plantas de bombeo en fuentes de captación, plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), por estado, bajo las siguientes consideraciones[3]:

- Para el consumo de energía en agua suministrada se consideró $1.48/kWh
- Para el consumo de energía en agua potabilizada y tratamiento se consideró $1.35/kWh
- Total Generación S.E. Prospectiva 2010. 269 260 GWh
- Total Generación S. Público 2010. 235 871 GWh
- Relación Generación S. Público = (13 825/235 871)*100 = 5.86 %
- Relación G. total Sector = (13 825/269260)*100 = 5.13 %

Para lo cual, la intensidad energética representa la energía que se consume para proceso indicado (ver Tabla 3.1). Agua suministrada, tratamiento de agua residual y agua potabilizada y se expresa como unidades de energía por unidad de volumen (kWh/m^3)

3 Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024, Inventario nacional de plantas, Situación del subsector de agua potable ,alcantarillado y saneamiento y página web de CFE (julio 2014)

Tabla 3.1 Intensidades energéticas

Agua	Rango
Captada	0.5 – 1.9 kWh/m³
Residual Tratada	0.4 – 0.7 kWh/m³
Potabilizada	0.2 – 0.9 kWh/m³
Desalada	0.95 – 2.8 kWh/m³

Tabla 3.2 Intensidad energética por estado en el sector hídrico

Estado	Intensidad energética KWh/m³		
	Agua suministrada	Tratamiento de aguas residual	Agua potabilizada
Aguascalientes	1	0.50	0.35
Baja California	1.1	0.60	0.3
Baja california sur	0.7	0.50	0.92
Campeche	0.7	0.73	0.33
Chiapas	1.8	0.46	0.4
Chihuahua	0.8	0.48	0.21
Coahuila de Zaragoza	0.7	0.62	0.6
Colima	0.6	0.42	0.92
Distrito Federal	0.9	0.82	0.8
Durango	0.7	0.44	0.85
Guanajuato	1.3	0.51	0.75
Guerrero	1	0.43	0.42
Hidalgo	1.9	0.54	0.5
Jalisco	1.2	0.53	0.35
México	1.3	0.57	0.32
Michoacán	0.9	0.49	0.35
Morelos	0.5	0.48	0.65
Nayarit	1.1	0.38	----
Nuevo León	1.1	0.53	0.65
Oaxaca	1.9	0.54	0.32
Puebla	1.8	0.60	0.65
Querétaro de Arteaga	1.1	0.48	0.4
Quintana Roo	0.9	0.49	-----
San Luis Potosí	1.2	0.42	0.55
Sinaloa	0.8	0.50	0.45
Sonora	0.6	0.46	0.35
Tabasco	0.5	0.49	0.33
Tamaulipas	0.9	0.22	0.54
Tlaxcala	1.5	0.45	----
Veracruz	0.9	0.45	0.32
Yucatán	0.9	0.57	----
Zacatecas	0.7	0.40	0.92

Tabla 3.3 Consumo energético en el sector hídrico por estado

Estado	Consumo de KWh (anual)		
	Agua suministrada	Tratamiento de agua residual	Agua potabilizada
Aguascalientes	123 687 371	77 618 125	287 168
Baja California	300 350 932	99 346 726	60 434 985
Baja california sur	57 433 605	25 013 736	6 096 798
Campeche	68 555 844	4 126 194	239 517
Chiapas	389 096 898	11 562 868	32 667 730
Chihuahua	326 056 258	130 584 485	2 518 243
Coahuila de Zaragoza	263 109 973	70 713 391	32 324 390
Colima	68 833 229	30 119 697	136 452
Distrito Federal	906851382	73 550 295	76 140 551
Durango	166 813 698	38 183 202	120 705
Guanajuato	545 619 251	64 205 728	8 579 539
Guerrero	245 531 818	76 143 012	39 311 094
Hidalgo	256 572 956	4 189 340	2 840 123
Jalisco	781 980 626	143 317 383	132 881 482
México	1 496 227 467	162 089 405	169 034 043
Michoacán	427 120 469	55 019 564	27 557 086
Morelos	157 645 780	37 139 630	51 280
Nayarit	108 025 669	23 431 144	---
Nuevo León	462 677 551	241 123 384	146 172 628
Oaxaca	301 589 542	19 671 182	7 788 754
Puebla	475 362 804	76 127 552	6 656 145
Quéretaro de Arteaga	175 618 080	32 575 813	19 716 767
Quintana Roo	110 963 619	43 899 763	---
San Luis Potosí	232 098 666	39 116 224	16 611 724
Sinaloa	255 873 654	108 074 796	114 408 689
Sonora	249 887 305	33 071 783	22 642 094
Tabasco	176 403 216	12 874 579	90 756 141
Tamaulipas	316 929 364	111 126 495	196 616 058.6
Tlaxcala	110 002 710	7 056 247	---
Veracruz	649 564 609	92 011 086	44 368 533.05
Yucatán	187 249 332	2 357 322	---
Zacatecas	144 202 529	16 094 672	313 550
Total	10 605 848 164	1 961 534 824	1 257 272 269
Total kWh		13 824 655 257	
Total GWh		13 825	



4

Auditoría energética

Una auditoría o evaluación energética comprende una revisión detallada del desempeño energético de una organización, de un proceso o de ambos. Se basa generalmente en una apropiada medición y observación del desempeño energético real. Los resultados de la auditoría generalmente incluyen información sobre el consumo y el desempeño actuales y pueden ser acompañadas de una serie de recomendaciones categorizadas para la mejora del desempeño energético. Las auditorías energéticas se planifican y se realizan como parte de la identificación y priorización de las oportunidades de mejora del desempeño energético[4].

4.1. Metodología para realizar una auditoría[5]

El proceso de auditoría de energía consta de las siguientes etapas, ver Ilustración 4.1.

Planificación de la auditoría energética

Las actividades de planificación son primordiales para definir el alcance de la auditoría, los objetivos y para reunir información preliminar de la organización.

Reunión de apertura

El auditor informa a las partes interesadas los objetivos de la auditoría energética, el alcance, los límites y métodos, así como la revisión de las disposiciones de seguridad, entre otras.

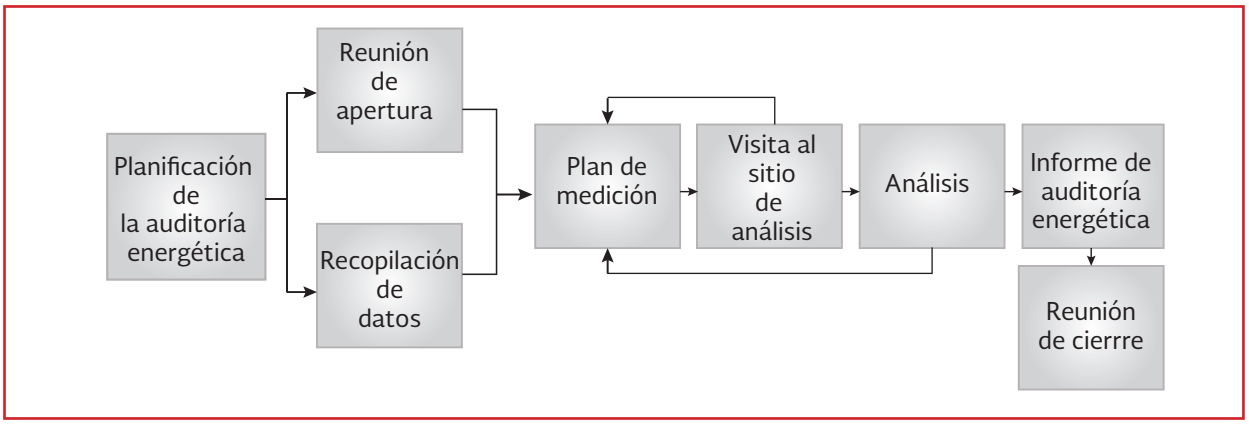
Recopilación de datos

El auditor de energía reúne, registra y sistematiza los datos de energía que apoyan los objetivos de la auditoría, por ejemplo:

- Una lista de sistemas de consumo de energía, procesos y equipos
- Características detalladas de los usos de la energía dentro del alcance de la auditoría, incluyendo las variables relevantes y la influencia de la organización en la eficiencia energética
- Datos de rendimiento de energía históricos y actuales
- Equipo de monitoreo, configuración y análisis de la información
- Planes futuros que podrían afectar el rendimiento de la energía
- Documentos de diseño, operación y mantenimiento

4 Fuente: Norma ISO - 50001
5 Fuente: Norma ISO - 50002

Ilustración 4.1 Diagrama de flujo del proceso de auditoría de la energía



Fuente: Norma ISO 50002

- El sistema de distribución de energía y su gestión
- Cuadro tarifario actual de energías (o aranceles) o un tipo de referencia (tarifa) que se utilizarán para el análisis financiero
- Otros datos económicos relevantes
- Conocimiento sobre cómo la organización gestiona su uso y consumo de energía

Plan de medición

Para cualquier medición en el lugar y recopilación de datos, el auditor de energía y la organización deben llegar a un acuerdo sobre un plan de medición. El plan de medición de datos debe ser revisado en base a las conclusiones del auditor de energía durante la auditoría energética; los principales elementos que se incluyen en el plan de medición son:

- Una lista de los puntos de medición relevantes y sus procesos asociados y equipos de medición
- Identificación de los puntos de medición adicionales, medición adecuada de equipos, sus procesos y viabilidad de instalación asociadas
- La precisión y mediciones repetitivas necesarias para las mediciones y su incertidumbre asociada
- Un período de tiempo adecuado donde las actividades son representativas
- Variables relevantes proporcionados por la organización, por ejemplo, parámetros de funcionamiento y datos de producción
- Responsabilidades para llevar a cabo las mediciones, incluido el personal de trabajo de la organización, etcétera

Visita al sitio de análisis

a) El auditor de energía debe:
   - Observar los usos de la energía dentro de la organización y comparar con la información de datos recopilados
   - Evaluar el uso y el consumo de energía de acuerdo con el alcance de la auditoría energética, límite, objetivo de la auditoría (as) y los métodos acordados

- Comprender el impacto de las rutinas de funcionamiento y comportamiento de los usuarios en materia de rendimiento de energía
- Generar ideas preliminares, oportunidades, cambios operativos o tecnologías que puede conducir a la mejora del rendimiento energético
- Asegurarse de que las mediciones, observaciones y datos del pasado son representativos de prácticas operativas, etcétera

b) El auditor de energía deberá estar de acuerdo con la organización para:
   - Identificar una o más personas para facilitar el acceso y actuar como guía y escolta para el auditor de energía durante las visitas, según sea necesario: estos individuos tendrán competencias y autoridad necesarios para solicitar o realizar operaciones directas en procesos y equipos, si es necesario
   - El lugar donde acordó la planificación de la auditoría energética, identificar uno o más individuos para instalar registradores de datos y equipo de monitoreo de energía durante las visitas; las personas deben tener la autoridad necesaria para pedir la autorización de la operación o el personal de mantenimiento para llevar a cabo operaciones directas en procesos y equipos, si se requiere, etcétera

Análisis

Con el fin de facilitar una auditoría energética eficaz, el auditor de energía debe evaluar la vigencia y disponibilidad de los datos aportados y resaltar los problemas que impidan la continuidad de la auditoría.

Si es necesario, el auditor de energía podrá proponer un método diferente para recabar o complementar los datos.

Informe de auditoría energética

De acuerdo con el plan de medición, el auditor debe acordar un calendario de informes. Mismo que sirve para presentar los resultados de la auditoría energética, el auditor de energía debe:

- Asegúrese de que los requisitos de auditoría energética acordados con la organización han sido cumplidos, incluyendo métodos acordados y formatos de presentación de informes
- Identificar las medidas pertinentes hechas durante la auditoría energética
- Indicar si la base para el análisis son: cálculos, simulaciones o estimaciones
- Un resumen de los análisis que detallan las estimaciones, suposiciones e incertidumbre
- En su caso, indicar los límites de precisión para los ahorros y los costos

- Proporcionar una lista priorizada de oportunidades de mejora de eficiencia energética
- Sugerir recomendaciones para la aplicación de las oportunidades

Reunión de cierre

Antes de la reunión de cierre, se debe presentar el informe sobre la auditoría energética a la organización.

Al cierre, el auditor de energía debe cumplir con:

- Presentar los resultados de la auditoría energética de una manera que facilite la toma de decisiones por parte de la organización
- Ser capaz de explicar los resultados y formular preguntas
- En su caso, identificar los elementos que requieren mayor análisis o seguimiento por parte de la auditoría

5

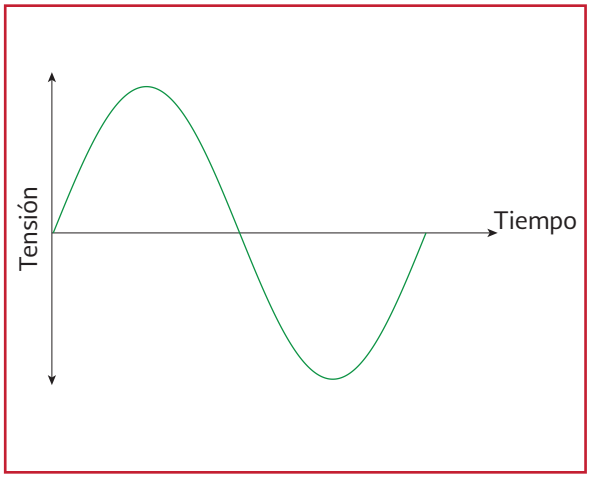
Calidad de la energía

5.1. Conceptos generales

El término calidad de energía es muy amplio, puede definirse como la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones de la onda senoidal producidas por armónicas en la red y variaciones de la tensión suministrado al usuario (ver Ilustración 5.1); está relacionada con la estabilidad de la tensión, la frecuencia y la continuidad del servicio. Actualmente la calidad de la energía ha tomado mucha importancia, debido al incremento del número de cargas sensibles en los sistemas eléctricos, ya que pueden ocasionar efectos contraproducentes en los equipos y en el consumo de energía.

Existen tres cambios fundamentales en la naturaleza de la carga del usuario, que conciernen a la calidad de la energía:

Ilustración 5.1 Onda senoidal sin interrupciones



- La microelectrónica
- La electrónica de potencia
- El uso excesivo de capacitores

Los siguientes disturbios afectan la calidad de la energía:

- ***Transitorios de tensión:*** Son incrementos en el nivel de tensión de corta duración, por lo general micro segundos y de amplitud variable.
- ***Depresión de tensión***: Es un decremento momentáneo en el nivel de tensión
- ***Amplificación de tensión***: Es un incremento del la tensión
- ***Sobre tensión***: Es la condición de tensión elevada (arriba del valor nominal) que a diferencia del la amplificación, dura mucho más tiempo
- ***Colapso***: Es una perturbación de polaridad opuesta a la toma de onda normal
- ***Baja tensión:*** Es una disminución del nivel de tensión por debajo del 90 por ciento del valor nominal
- ***Ruido***: Es una distorsión de alta frecuencia en la forma de onda de tensión (no necesariamente periódica)
- ***Interrupciones de energía***: Por lo general se considera interrupción cuando la tensión ha decrecido a un 15 por ciento del valor nominal o menos
- ***Variación de frecuencia***: Este disturbio se presenta cuando la frecuencia de tensión "sale" de las tolerancias permitidas. La ma-

yoría de los equipos electrónicos son sensibles a esta fuerte variación, produciéndose un inadecuado funcionamiento en ellos

En la Ilustración 5.2 se muestran ejemplos de los disturbios que afectan la calidad de la energía.

Ilustración 5.2 Distintas formas de falla que afecta la calidad de energía

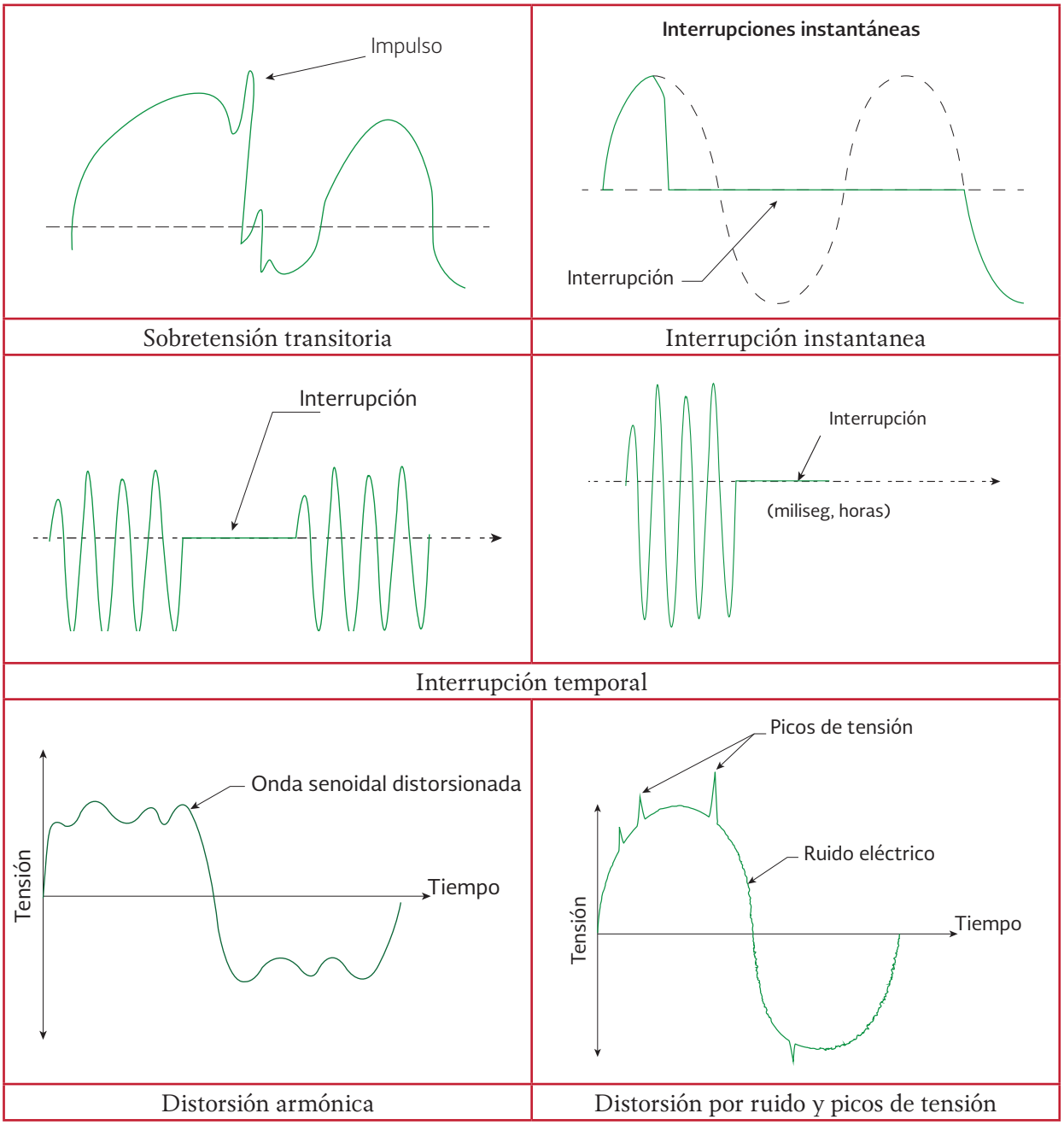
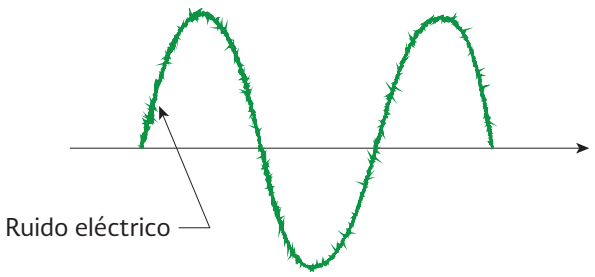
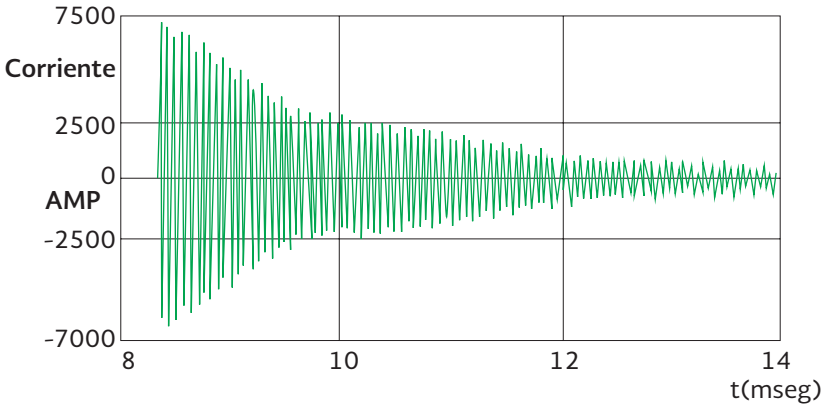


Ilustración 5.2 Distintas formas de falla que afecta la calidad de energía (continuación)



Ruido eléctrico (interferencia)



Transitorio causado por la energización de un banco de capacitores

Fuente: Enríquez (2014)

El objetivo de la mejora de eficiencia energética es encontrar caminos efectivos para corregir o controlar los disturbios y variaciones de tensión para beneficio del usuario, y proponer soluciones, para reducir las fallas que se presentan en el sector eléctrico, para lograr con ello, un suministro de energía eléctrica con calidad y asimismo incrementar la eficiencia operativa del organismo operador.

5.2. Sistema de tierras

Una instalación de puesta a tierra se compone de electrodos que se encuentran en contacto con el suelo y de conductores (malla de cobre) utilizados para enlazar a dichos electrodos entre sí; además de los gabinetes en los equipos y demás instalaciones expuestas a corrientes nocivas. La correcta conexión a tierra de un sistema eléctrico, es un factor de suma importancia para la seguridad del personal operativo; así como también para la protección de equipos, contra disturbios y tensiones peligrosas.

5.3. Armónicas

La utilización de equipo electrónico y semiconductores electrónicos de potencia ha cambiado las características de carga en las instalaciones eléctricas modernas, a estas cargas se les denomina cargas no lineales, y el efecto que producen, son las armónicas.

Las armónicas distorsionan la forma original de onda de la tensión y la corriente suministrada y son múltiplos de la frecuencia fundamental. Así en sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima (420 Hz), por ejemplo. Los motores están diseñados para operar con energía eléctrica a una frecuencia de 60 Hz y una forma de onda sinusoidal. Utilizar la energía eléctrica con una onda distorsionada, disminuye la eficiencia del motor.

Las armónicas generadas por los rectificadores trifásicos y tiristores de potencia, equipos conversores AC/DC y controladores de motores, distorsionan la tensión y causan problemas a otras cargas conectadas a la línea (ver Ilustración 5.3).

Ejemplo de ello son:

- Ruido excesivo y sobrecalentamiento en transformadores y motores eléctricos
- Efectos perjudiciales en equipos de control y regulación
- Sobrecalentamiento de capacitores y cables
- Velocidad súbita de dispositivos eléctricos
- Fallas en computadoras
- Errores en equipos de medición
- Fenómenos de resonancia
- Reducción en la vida útil de los equipos

De forma particular, la Tabla 5.1 muestra los efectos de la distorsión armónica sobre algunos equipos.

Ilustración 5.3 Representación de armónicas

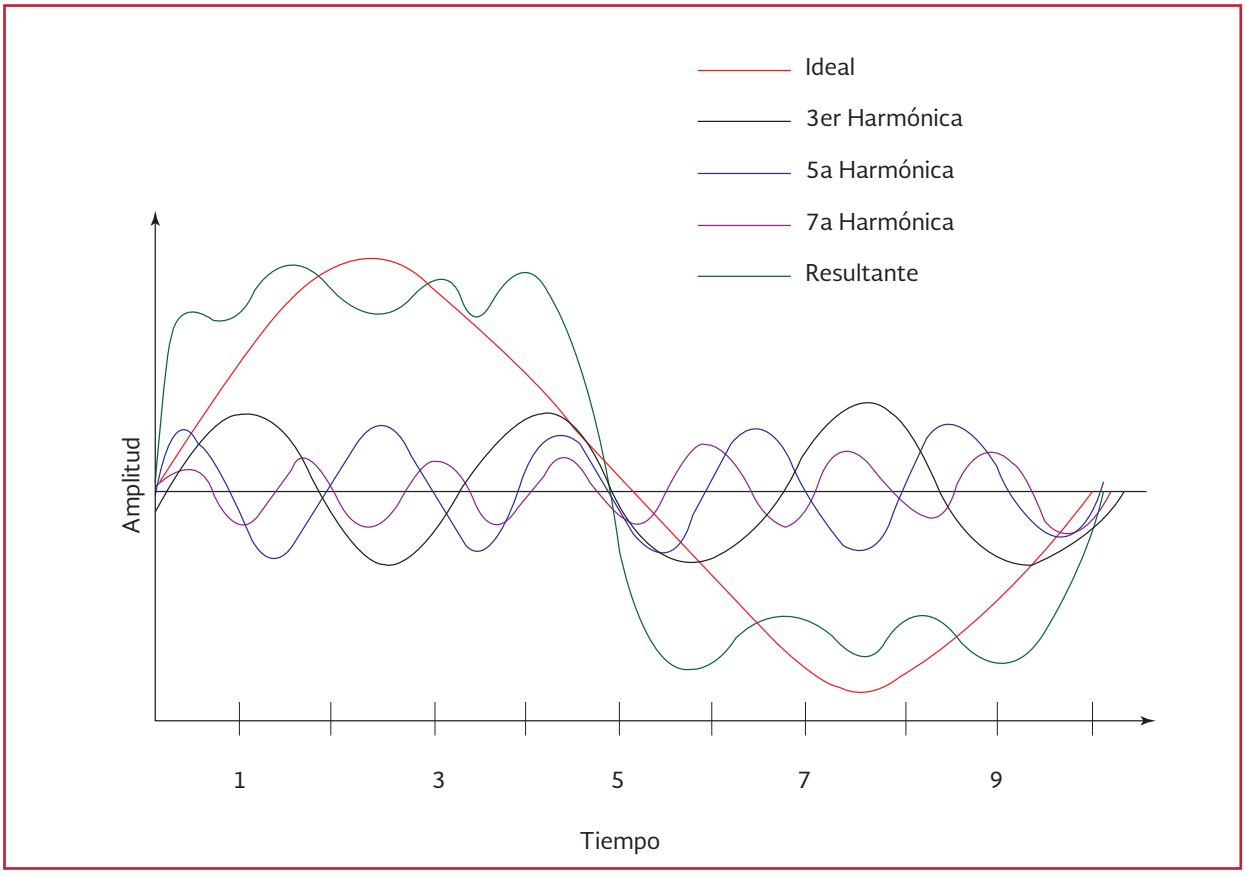


Tabla 5.1 Efectos de las armónicas sobre algunos equipos

Equipo	Efecto de armónicas	Resultados
Capacitores (Todos, no solo los destinados a corregir el factor de potencia)	La impedancia del capacitor decrece al incrementarse la frecuencia, así los capacitores actúan como un sumidero a donde las armónicas convergen. Sin embargo, los capacitores no producen armónicas La industria del sistema de alimentación puede entrar en resonancia con los capacitores a varias frecuencias armónicas, causando grandes corrientes importantes Los capacitores secos no disipan muy bien el calor y por consiguiente son más susceptibles al daño por armónicas Ruptura del material aislante Como regla general, los capacitores y dispositivos de transferencia son incompatibles	Calentamiento de los capacitores, debido a un incremento en las pérdidas dieléctricas Corto circuito Fallas de fusibles Explosión de capacitores
Transformadores	Las armónicas causan alta tensión y esfuerzos en el aislamiento; normalmente esto no es un problema significativo	Calentamiento del transformador Reducción de la vida útil Incremento de las pérdidas en el hierro y en el cobre Esfuerzos en el aislamiento Ruido
Motores	Incremento de las pérdidas Armónicas de tensión producen campos magnéticos rotatorios a una velocidad correspondiente a la frecuencia armónica	Calentamiento del motor Vibraciones mecánicas y ruido Impulsos de par de torsión Incremento de pérdidas en el hierro y el cobre en los devanados del rotor y estator. En un 5 - 10 % Reducción de la eficiencia Reducción de la vida útil Esfuerzos en el aislamiento de los devanados del motor
Interruptores	Las bobinas pueden no operar apropiadamente en presencia de corrientes armónicas	Falla al pretender interrumpir corrientes Falla del interruptor
Inducción electromecánica en discos de relevadores	Producen componentes adicionales al par, originado un efecto de retraso de tiempo en las características de operación del relevador	Velocidad incorrecta en el relevador Lecturas incorrectas
Watthorímetros, Relevadores de sobrecorriente	Las armónicas producen un par adicional sobre el disco inducción, causando una operación indeseable, pues estos dispositivos son solamente calibrados para operar a la frecuencia fundamental	Lecturas incorrectas
Equipo de control electrónico	Los controles electrónicos son usualmente dependientes del cruce cero y picos de tensión para un control adecuado; sin embargo, las armónicas pueden alterar significativamente estos parámetros, de tal forma que afectan en forma adversa su operación	

Fuente: Enríquez (2014)



6

Eficiencia en sistemas de bombeo

6.1. Conceptos

Para el análisis y evaluación de la eficiencia, es oportuno revisar los conceptos que son importantes para el incremento de la eficiencia así como para la localización de las fallas que la afectan. En el anexo D se presenta una síntesis de las definiciones contenidas en las Normas Oficiales Mexicanas, para mayor abundamiento, se recomienda referirse a la normatividad presentada en el anexo B.

6.2. Campo de aplicación

Se aplica a todos aquellos equipos de bombeo verticales centrífugos tipo turbina con motor exterior o sumergible destinados a cárcamos de bombeo, pozos profundos, plantas de bombeo, plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento que han sido o no, puestas en operación.

6.3. Clasificación de las bombas

La clasificación detallada de las bombas se presenta en el libro de Cálculo, estudio y diseño de instalaciones mecánicas, del MAPAS.

6.3.1. Por tipo

De forma simplificada las bombas utilizadas en el sector hídrico se pueden clasificar como:

- ***Bombas verticales tipo turbina***[6]
  Diseño específico de una bomba centrífuga que opera con el eje de rotación vertical y parcialmente sumergida en el fluido que maneja, su mayor aplicación es la extracción de agua de pozos profundos, para irrigación, abastecimiento municipal y abastecimientos industriales

6 NOM-001-ENER. "Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba".

- ***Bombas sumergibles***[7]
  Las bombas sumergibles, se agrupan de acuerdo a la capacidad expresada en l/s (litros/segundo), trabajan acopladas directamente a un motor eléctrico sumergible, dichos motores se agrupan de acuerdo a la potencia nominal, la cual se expresa en kW
- ***Bombas de pozo profundo***[8]
  Las bombas para pozo profundo se clasifican de acuerdo a la potencia nominal expresada en kW del motor eléctrico al cual deben acoplarse

6.3.2. Por potencia

Las bombas se clasifican de acuerdo a la potencia nominal, expresada en caballos de potencia (hp), del motor eléctrico que debe acoplarse. Se definen en cuatro grupos: de 5.6 a 14.9 kW (7.5 a 20 hp), de 15.7 a 37.3 kW (21 a 50 hp), de 38 a 93.3 kW (51 a 125 hp) y de 94 a 261 kW (126 a 350 hp).

6.4. Especificación y muestreo

Una forma de conocer las condiciones en que operan los equipos, es evaluando su eficiencia a través de la medición de parámetros, tales como: gasto de operación, nivel estático, nivel dinámico, factor de potencia, potencia activa, aparente, corriente y tensión eléctrica, entre otros.

7 NOM-010-ENER. "Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba".

8 NOM-006-ENER. "Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba".

Conociendo la eficiencia electromecánica con la que trabaja el equipo, estamos en condiciones de determinar las causas que limitan su operación eficiente y en función de esto, proponer acciones para sustituir, dar mantenimiento o rehabilitar el equipo según sea el caso, con la finalidad de incrementar dicha eficiencia.

6.5. Pruebas y requerimientos en laboratorio

Requerimientos para la prueba

1. ***Aplicación del método de prueba***. Aplica para bombas verticales tipo turbina con motor externo o bombas sumergibles aplicadas a pozos profundos de flujo radial y semiaxial, accionadas por motor sumergible de cualquier tamaño especificado en las correspondientes normas
2. ***Lugar de la prueba***. Las pruebas de aceptación deben realizarse en laboratorios debidamente acreditados por EMA[9]
3. ***Fluido para la prueba***. Para efectuar esta prueba se debe utilizar agua limpia con las propiedades indicadas en las normas. El contenido total de gas disuelto y libre en el agua, no debe exceder el volumen de saturación correspondiente a la presión y temperatura existentes en el tanque
4. ***Personal***. El personal responsable de las pruebas debe ser acreditado por EMA
5. ***Puntos a probar.*** Los parámetros garantizados por el fabricante serán la parte esencial de la prueba, así como la determinación de los límites de operación del equipo

9 Entidad Mexicana de Acreditación

6. ***Reportes de la prueba***. La evaluación de los resultados de la prueba se debe hacer inmediatamente, incluyendo gráficas de la curva de operación, antes de que la instalación sea desmantelada con la finalidad de poder repetir alguna medición, si fuera necesario

6.6. Condiciones para la prueba[10]

Puntos a verificar antes y durante la prueba

1. Alineación entre motor y bomba
2. Que los instrumentos de medición cumplan con la certificación de calibración. (SNC)[11]
3. Que las condiciones de operación sean estables de acuerdo con las oscilaciones y variaciones

Parámetros garantizados

Los parámetros garantizados por el fabricante para este método de prueba son: La eficiencia del conjunto motor bomba para la carga y el flujo especificado en el punto óptimo de operación de la bomba, que debe ser igual o mayor que el valor del producto que se obtenga de multiplicar los valores correspondientes a la capacidad de la bomba.

Ejecución de la prueba

El tiempo de duración de la prueba debe ser suficiente para obtener resultados consistentes, considerando el grado de exactitud para ser llevada a cabo.

Para verificar el punto óptimo de operación, se deben registrar al menos tres puntos de medición, cercanos y agrupados uniformemente alrededor de dicho punto y para determinar el funcionamiento sobre el intervalo de operación indicado, la bomba debe ser operada desde capacidad cero hasta la máxima capacidad mostrada en la curva de operación suministrada por el fabricante, tomando como mínimo seis puntos de medición, considerando tres arriba y tres abajo del punto garantizado.

Tabla 6.1 Oscilaciones permisibles en el indicador de los instrumentos de medición

Variable medida	Máxima oscilación permisible*
Flujo, carga, par, potencia	±3%
Velocidad de rotación	±1%

*El valor nominal a medir debe quedar dentro del tercio medio de la escala de medición.

Oscilaciones permisibles en el indicador de los instrumentos de medición

Las oscilaciones permisibles se presentan en la Tabla 6.1. Cuando se use un dispositivo de presión diferencial para medir flujo, la mínima oscilación permisible debe ser ± 6 por ciento.

Número de lecturas a tomar durante la prueba

Se deben de registrar un mínimo de tres lecturas de cada medición, previamente es necesario verificar que se cumpla con los límites de oscilación y las variaciones permitidas en las lecturas. Los límites de variación entre mediciones repetidas se pueden consultar en las Normas (NOM-001-ENER, NOM-010-ENER).

10 NOM-001-ENER y NOM-010-ENER
11 Sistema Nacional de Calibración

Corrección de la velocidad de rotación

Cuando la prueba se realice a una velocidad de rotación diferente a la nominal especificada por el fabricante, deben hacerse las correcciones de flujo, carga y potencia obtenidas durante la prueba, de acuerdo a las leyes de afinidad[12]:

$$q_0 = q_1\left(\frac{n_0}{n_1}\right) \qquad \text{Ecuación 6.1}$$

$$H_0 = H_1\left(\frac{n_0}{n_1}\right)^2 \qquad \text{Ecuación 6.2}$$

$$P_0 = P_1\left(\frac{n_0}{n_1}\right)^3 \qquad \text{Ecuación 6.3}$$

donde:

Parámetros nominales

q_0	=	Capacidad
H_0	=	Carga total
P_0	=	Potencia demandada por la bomba
n_0	=	Frecuencia de rotación

Parámetros leídos durante la prueba

q_1	=	Capacidad
h_1	=	Carga total
P_1	=	Potencia demandada por la bomba
n_1	=	Frecuencia de rotación

6.7. Medición de parámetros hidráulicos[13]

La determinación del flujo, la carga, la potencia y la frecuencia de rotación son necesarias para la elaboración de la curva de operación de la bomba, misma que debe servir para verificar los parámetros garantizados por el fabricante específicamente el de la eficiencia. En los siguientes párrafos se mencionan algunos de los métodos utilizados en la medición de estas variables.

Al realizar mediciones de los parámetros de caudal y carga hidráulica total de bombeo (*Q-Hb*) se puede obtener la curva de funcionamiento, modificando en cada lectura de datos las condiciones de operación.

Los parámetros hidráulicos y los datos de referencia que se deben obtener son:

- Medición del caudal a la descarga en la bomba (Q_d)
- Medición de la carga de presión de operación, en la succión (p_s) y descarga (p_d)
- Definición del nivel de referencia (N_r)
- Medición del nivel dinámico de succión (*NDs*)
- Medición de niveles a centros de manómetros ($D_{r\text{-}m}$), tanto en la succión como en la descarga

6.7.1. Medición del caudal a la descarga de la bomba

En cada una de las captaciones, como pozos, manantiales, presas, galerías filtrantes, se debe realizar la medición del caudal (Q_d), la cual se hará en cada descarga a la red de distribución.

Para los casos de plantas potabilizadoras, tanques o rebombeos, se debe medir el caudal en la descarga de estas instalaciones, y se deben aprove-

12 Aplica si la desviación en porcentaje de la frecuencia de rotación con respecto a la frecuencia nominal especificada por el fabricante, no excede a ± 20%.

13 NOM-001-ENER, NOM-010-ENER y NOM-006-ENER

char los macromedidores existentes, siempre y cuando estos estén correctamente instalados y que cuenten con su certificación de calibración vigente; además, es importante que se obtengan previamente los errores de exactitud de estos equipos. Cuando no se cuente con un macromedidor, se debe utilizar un medidor portátil del tipo ultrasónico o electromagnético, considerando la versatilidad de su uso, el cual debe estar certificado por un laboratorio de pruebas acreditado.

Las condiciones recomendadas en la norma ANSI/HI 14.6 (*Rotodynamic pumps for hydraulics performance acceptance test*) para la medición de flujo incluyen que la sección de tubería seleccionada para la medición cumplan con lo siguiente:

- Una distribución simétrica del perfil de velocidades en la sección transversal
- Una distribución de la presión estática uniforme
- Sin turbulencia inducida por la instalaciones

Para lograr estas características se debe evitar cualquier accesorio como codos, válvulas, reducciones, ampliaciones o bombas, ya que éstos podrían distorsionar el perfil de velocidades del agua en la sección transversal. También se debe evitar cualquier curva o una combinación de curvas, cualquier expansión, o cualquier discontinuidad en el perfil transversal en la proximidad de la sección de medición.

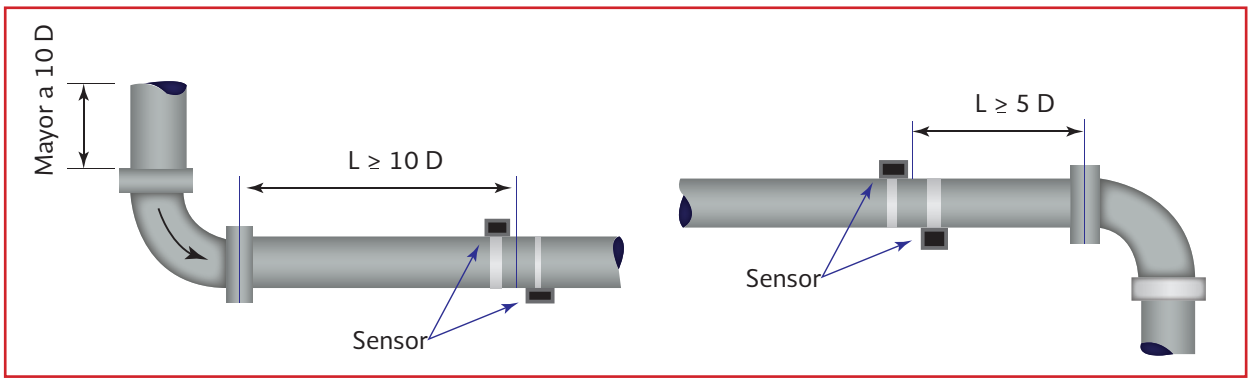
Las turbulencias en la tubería de medición se pueden evitar con las siguientes recomendaciones:

- Diseño cuidadoso del arreglo para la medición y las correctas condiciones de la sección aguas arriba de la ubicación del medidor
- Un correcto uso de correctores de flujo (*flow straightener*)
- Disposición adecuada de las tomas de presión para minimizar su influencia en la medición

Generalmente se debe dejar una distancia equivalente a 10 diámetros aguas arriba y 5 diámetros aguas abajo del eje del medidor (ver Ilustración 6.1). Sin embargo, estas distancias, se deben consultar en los respectivos catálogos del fabricante.

Para mayor referencia, se debe atender las recomendaciones presentadas en el libro de *Medición de caudal* del MAPAS y las especificaciones ver norma NOM-012-SCFI *Medición de flujo de agua en conductos cerrados de sistemas hidráulicos-Medidores para agua potable fría-Especificaciones* que

Ilustración 6.1 Posición del medidor del caudal ultrasónico



establece la terminología, las características técnicas, las características metrológicas y la pérdida de presión de medidores para agua potable fría y se aplica a medidores para agua de varias clases metrológicas que pueden funcionar a gastos permanentes entre 0.6 m^3/h y 4 000 m^3/h, soportando una presión máxima de trabajo igual o mayor a 1 MPa, a temperatura máxima de 30° C, (anexo A).

Esta Norma se aplica a medidores para agua definidos como instrumentos de medición con integración propia, que continuamente determinan el volumen de agua que pasa a través de ellos, empleando un proceso mecánico directo o un proceso de transmisión magnética o de otro tipo que incluye el uso de cámaras volumétricas de paredes móviles (medidores volumétricos) o la acción de la velocidad del agua sobre la rotación de una parte en movimiento (medidores de velocidad).

Para realizar la medición de caudal suministrado ésta se efectúa en intervalos cortos, del orden de 15 a 30 minutos, siempre y cuando no se detecten variaciones de caudal de (+/-) 5 por ciento en el transcurso de un día, por lo que se considerará el valor registrado como el valor de gasto medio suministrado a la red por esta captación. En caso de que la fluctuación de caudal llegara a ser mayor a este porcentaje, se recomienda practicar pruebas continuas mínimo durante 24 horas, con el fin de obtener un valor promedio de suministro de agua en ese punto.

En el caso de instalaciones electromecánicas con una batería de varios equipos, como por ejemplo los rebombeos, es conveniente que la medición de caudal deba hacerse por equipo individual, teniendo la precaución de que se encuentre en la condición de operación más normal, buscando evaluar la situación energética en las condiciones comunes de operación.

6.7.2. Medición de gasto y frecuencia de rotación

6.7.2.1. Tubo de Pitot

Este instrumento correlaciona la carga de velocidad con el flujo. La distribución de la carga de velocidad en la tubería no es uniforme y para obtener una exactitud aceptable son necesarias múltiples puntos de medición en la sección transversal de la tubería. Se recomienda su uso en sistemas de bombeo con descarga a una tubería de presión. Las dimensiones mínimas de una instalación de este tipo se muestran en la Ilustración 6.2.

6.7.2.2. Orificio calibrado

Son generalmente circulares y se encuentran dentro del tubo horizontal o en su extremo de descarga. Cuando el orificio se encuentra en el tubo, la descarga no es libre y la carga debe medirse en puntos situados aguas arriba y abajo, respecto al orificio. Esta carga se mide generalmente con un manómetro. Los tubos de uso más generalizado en riego agrícola tienen localizado el orificio en la descarga del tubo. Las dimensiones mínimas de una instalación típica se muestran en la Ilustración 6.3.

6.7.2.3. Método de la escuadra

Para medir el flujo en tubos horizontales es necesario medir una distancia horizontal y una vertical. La primera se mide desde la cúspide del interior del tubo hasta un punto de intersección con la componente vertical como se muestra en la Ilustración 6.4. Este método de medición de flujo es práctico y rápido, se aplica a tubos horizontales con descarga libre llenos o parcialmente llenos.

Para mayor información en la forma de medir el gasto, referirse al libro de *Rehabilitación de pozos* y el libro de *Sistemas de Medición del Agua: Producción, Operación y consumo*, del MAPAS.

Ilustración 6.2 Medición de flujo con tubo pitot

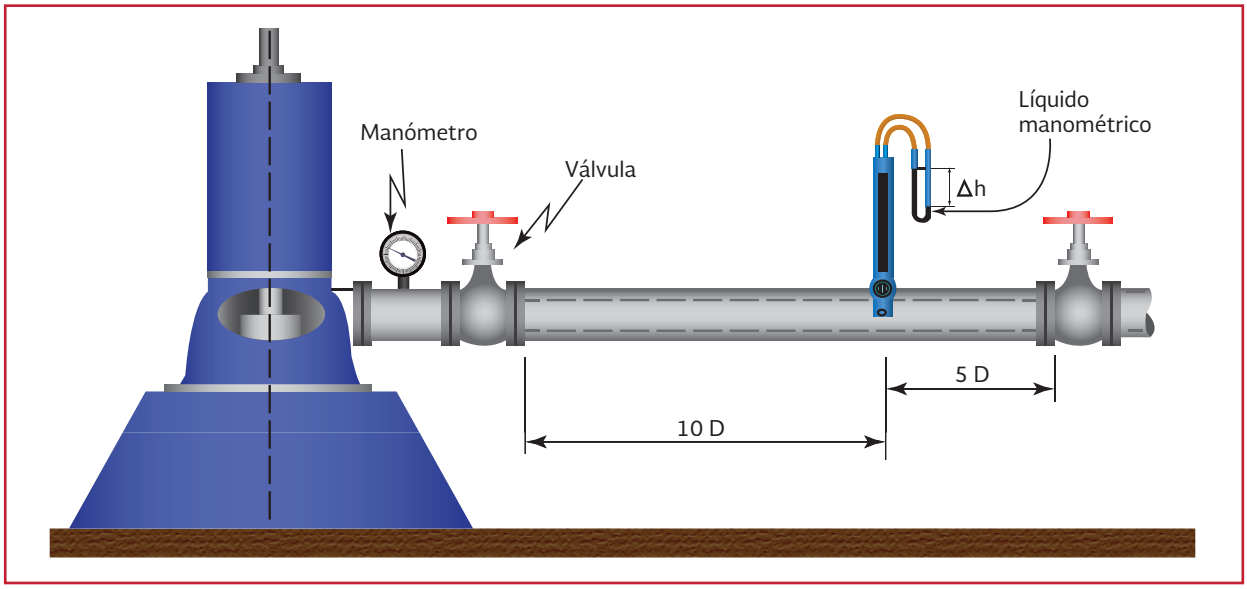
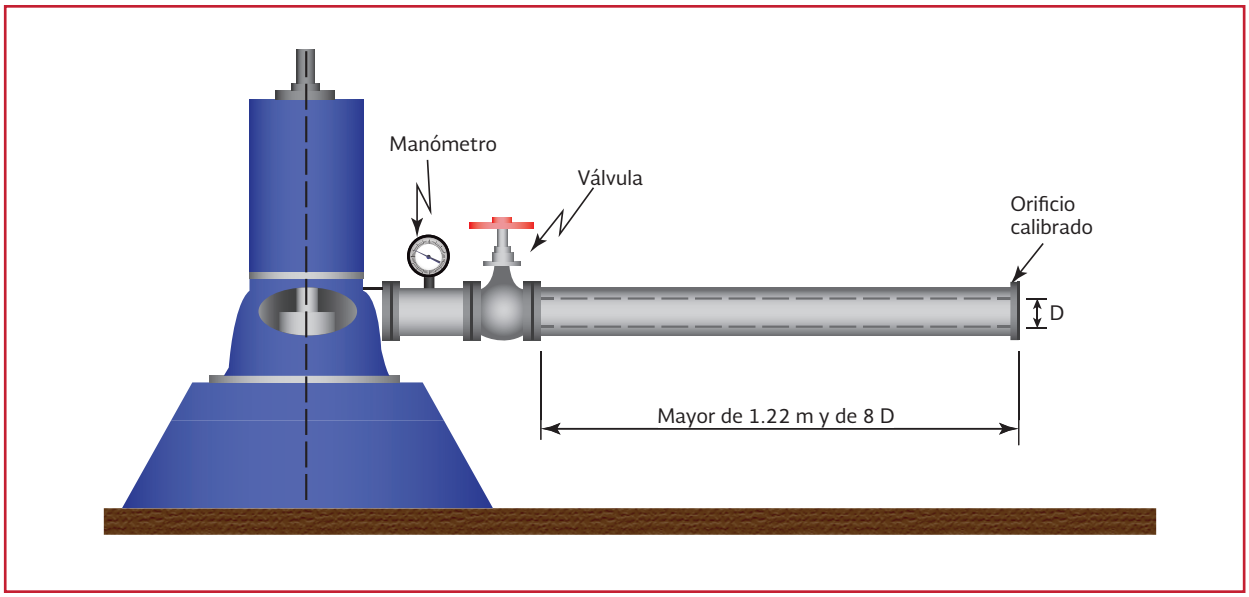
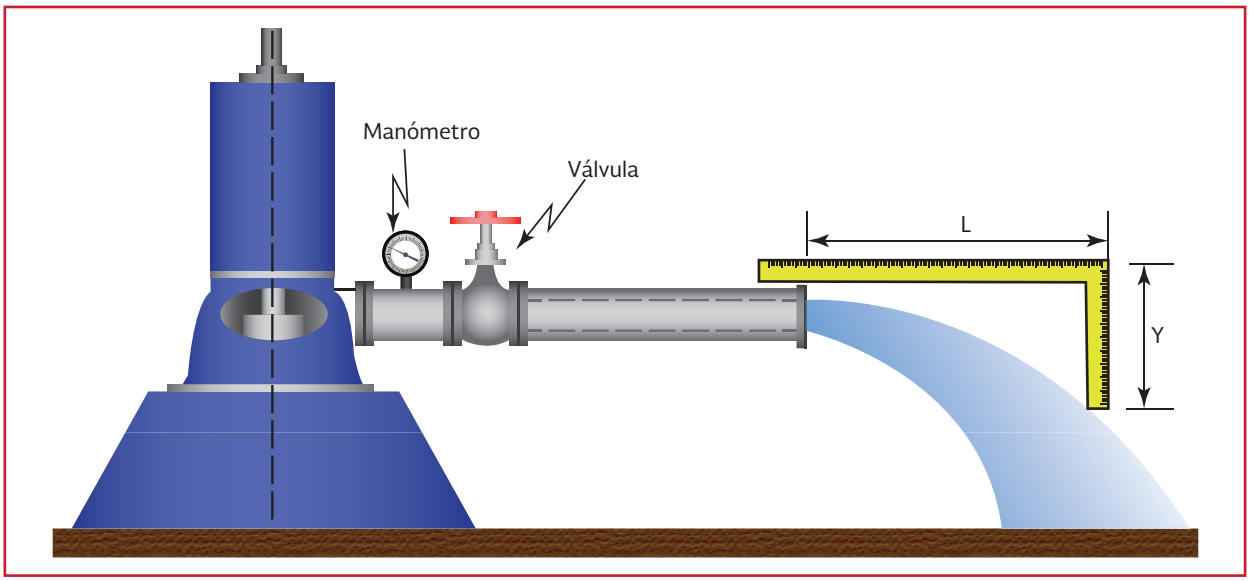


Ilustración 6.3 Medición de flujo mediante orificio calibrado



Fuente: NOM-006-ENER

Ilustración 6.4 Medición de flujo por el método de la escuadra



Fuente: NOM-006-ENER

6.7.3. Medición de presión

Cuando se desea realizar el cálculo de la carga hidráulica total de bombeo, es útil definir un nivel de referencia, a partir del cual se medirán los otros niveles.

6.7.3.1. Métodos de medición

Dependiendo de las condiciones de instalación de la bomba y en el diseño del arreglo, la carga total de la bomba se puede determinar mediante la medición por separado de la carga total de entrada y salida o mediante la medición de la presión diferencial entre la entrada y la salida, y la adición de la diferencia en la carga de velocidad, en su caso (ver Ilustración 6.5).

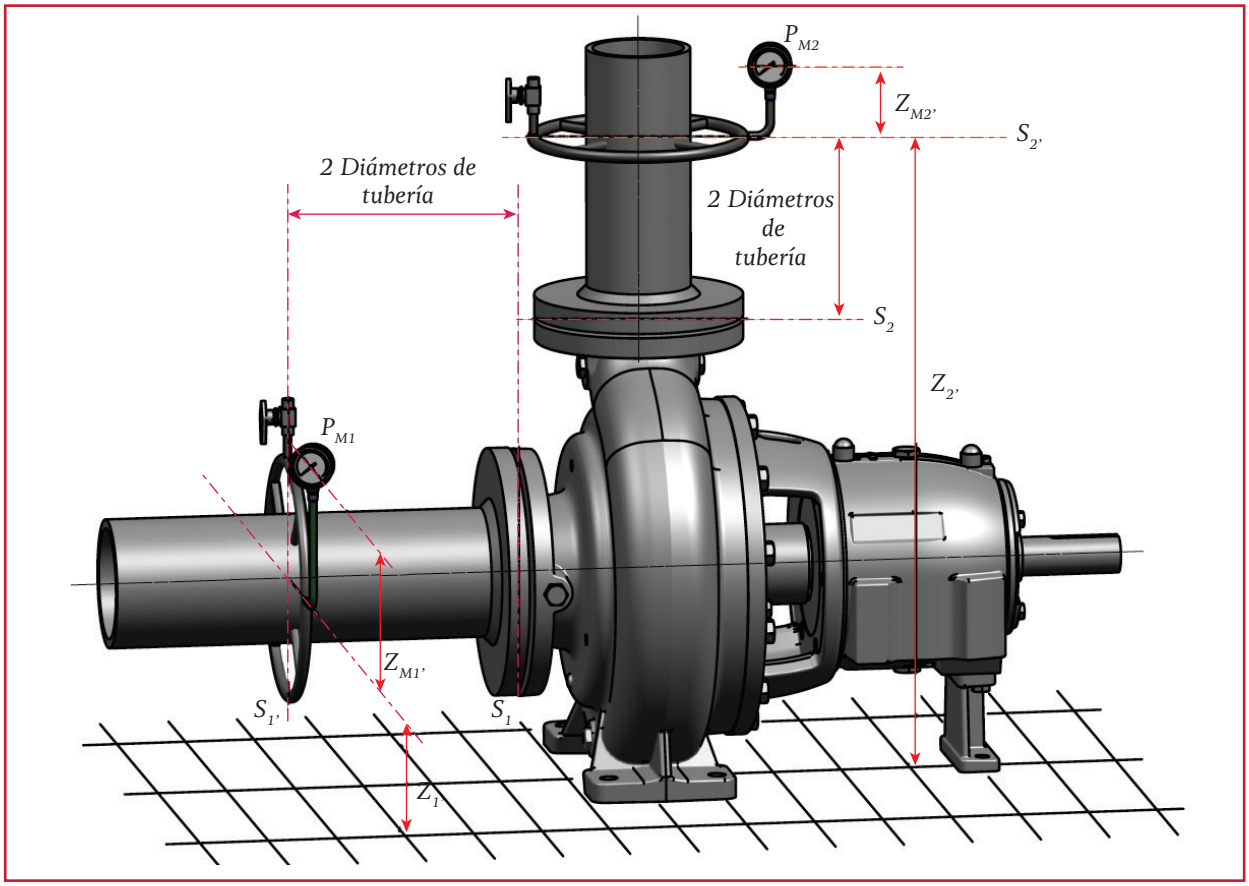
La carga total se puede deducir también a partir de mediciones de presión en la tubería de descarga y el nivel de agua en los depósitos.

6.7.3.2. Medición en la succión

Cuando se realizan mediciones de presión en equipos de bombeo, la ubicación del medidor en la succión normalmente se encuentra a una distancia de dos diámetros de tubería aguas arriba de la brida de entrada de la bomba, cuando la longitud del tubo de entrada lo permite.

En caso de que no se cuente con esta longitud, la longitud recta disponible debe dividirse a fin de tener las mismas condiciones aguas arriba y aguas abajo de la sección de medición.

Ilustración 6.5 Determinación de la carga total de la bomba



Fuente: ANSI/HI 14.6

La ubicación del medidor debe ser en una sección recta de tubo del mismo diámetro y que la entrada de la bomba de manera que las condiciones de flujo están tan cerca como sea posible a las recomendadas el apartado 6.7.1. Si existe una curva aguas arriba de la sección de medición y si sólo una o dos tomas de presión, éstas deben ser perpendiculares al plano de la curva.

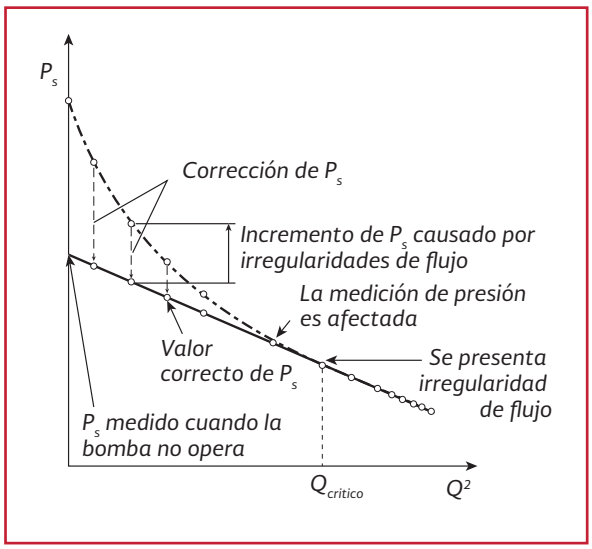
La carga total de entrada se deriva de la carga medida, desde la elevación del punto de medición (con respecto al plano de referencia) y de la carga de velocidad calculada considerando una distribución uniforme de velocidad. Para bombas sin tubería de entrada (por ejemplo, bombas sumergibles).

Los errores en la medición de la cabeza de entrada de la bomba pueden ocurrir en flujo parcial debido a turbulencias y fluctuaciones. Estos errores pueden ser detectados y deben ser corregidos por ejemplos como sigue:

a) Si la bomba extrae agua de un depósito a superficie libre, en el que el nivel de agua y la presión son constantes, la pérdida de carga entre el depósito y la sección de medición de entrada, en ausencia de turbulencia, está en función del cuadra-

do del caudal. El valor de la carga total de entrada debe seguir la misma tendencia. Cuando se presenta turbulencia, la relación entre el caudal y la presión de succión (P_s) sufre una desviación para valores pequeños de caudal, por lo que debe corregirse la carga total de entrada medida (ver Ilustración 6.6)

Ilustración 6.6 Corrección de la medición de presión



Fuente: ANSI/HI 14.6

b) Si la bomba no extrae de un depósito con un nivel y una carga constante, se debe establecer otra sección de medición suficientemente lejos de la toma, donde se garantice la ausencia de turbulencia y es entonces posible calcular las pérdidas de carga entre las dos secciones (pero no directamente sobre la carga total de entrada) de la misma manera como en el caso anterior (ver Ilustración 6.7)

6.7.3.3. Medición en la descarga

La sección de medición en la descarga debe estar en un tramo de tubería recta con el mismo diámetro de la descarga de la bomba. Cuando sólo se tiene una o dos tomas de presión, estas deben ser perpendiculares al plano de cualquier curva existente en la carcasa de la bomba (ver Ilustración 6.8).

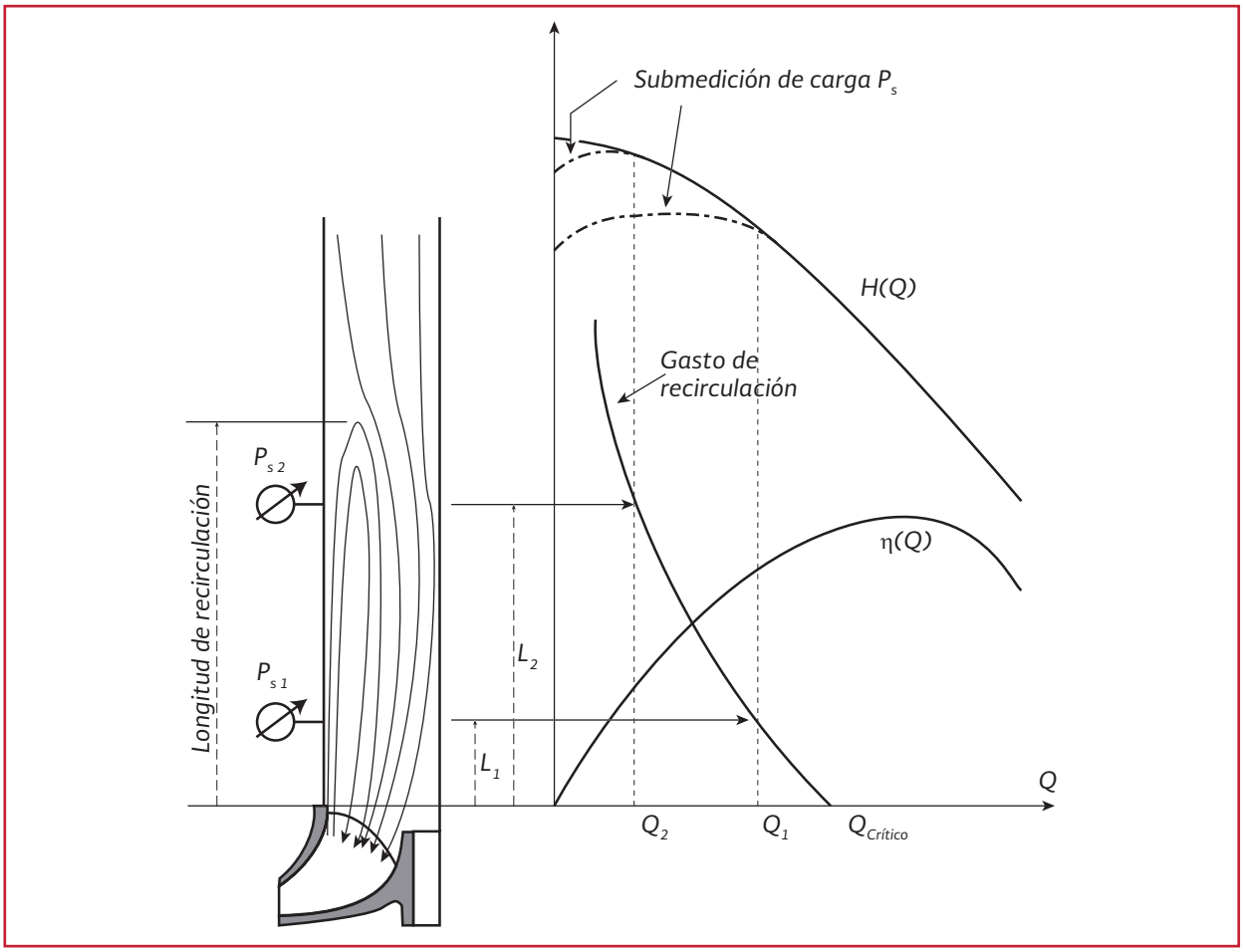
La carga total de la descarga se deriva de la carga medida, desde la elevación del punto de medición (con respecto al plano de referencia) y de la carga de velocidad calculada considerando una distribución uniforme de velocidad.

La determinación de la carga total puede estar influenciada por turbulencias del flujo inducidas por la bomba o por una distribución irregular del perfil de velocidades o una distribución irregular de la presión; la toma de presión puede entonces estar situado a una mayor distancia y en este caso deben tomarse en cuenta las pérdidas de carga entre la brida de salida de la bomba y la sección de medición.

6.7.3.4. Medición del nivel estático en condiciones sumergidas

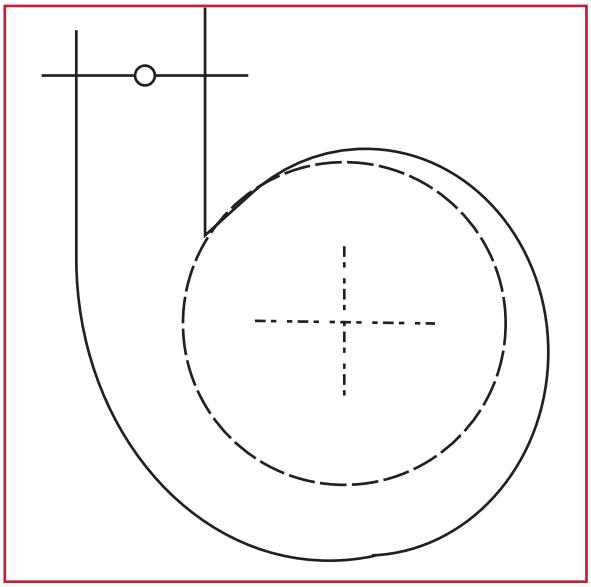
Cuando en una bomba, o una combinación de una bomba y sus accesorios, no se puede realizar la medición de presión en la succión debido a la inaccesibilidad o sumersión, ésta se medirá de acuerdo con los siguientes requisitos.

Ilustración 6.7 Errores de medición de la carga debida a recirculación de flujo



Fuente: ANSI/HI 14.6

Ilustración 6.8 Toma de presión perpendicular al plano de una curva



Fuente: ANSI/HI 14.6

La carga total de succión es igual a la altura por encima del plano de referencia del nivel de la superficie libre del agua más la carga de presión manométrica que se mide por encima de esta superficie.

Según las circunstancias, la carga total de salida puede ser determinada por una medición de la presión en la tubería de descarga o, si la bomba descarga en un depósito a superficie libre, la carga será este nivel. En este caso, y siempre que el agua está en reposo, la carga de descarga es igual a la elevación por encima del plano de referencia del nivel de la superficie libre del líquido en el que la bomba descarga más de la carga de presión manométrica medida (Para mayor referencia consulte la Norma ANSI/HI 14.6).

6.7.3.5. Medición del nivel dinámico de succión

Es importante iniciar por definir que el nivel de succión (NDs) es la distancia vertical entre el nivel de referencia y el espejo de agua de donde se está bombeando el agua, siempre y cuando sea en condiciones de operación normal y estable. Así la medición puede realizarse con una sonda de nivel o con un flexómetro, dependiendo de las condiciones del lugar.

Cuando se tiene un cárcamo de bombeo, el nivel dinámico de succión estará definido por el nivel de la superficie libre del agua dentro del cárcamo. En un pozo, el nivel de succión corresponde a su nivel dinámico en el acuífero. En las imágenes de la Ilustración 6.11 e Ilustración 6.12 se muestra la medición de nivel dinámico con una sonda eléctrica.

Hay que tomar en cuenta que si durante la medición en un cárcamo o tanque, el nivel del agua cambia de posición significativamente, entonces la medición del nivel de succión debe hacerse de manera simultánea a las mediciones de caudal, presión y parámetros eléctricos. El valor obtenido podrá ser negativo o positivo, dependiendo si el nivel se encuentra por debajo o por encima del nivel de referencia (Para mayor referencia consulte la Norma ANSI/HI 11.6).

6.7.4. Medición de cargas

Es el contenido de energía mecánica que requiere la bomba para mover el agua desde el nivel dinámico hasta su punto final de descarga.

6.7.4.1. Carga a la descarga

Está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), la carga de velocidad y las pérdidas por fricción, en m, expresada por:

$$h_d = P_{gd} + h_{fc} + h_v \qquad \text{Ecuación 6.4}$$

donde:

h_d = Carga a la descarga, en m
P_{gd} = Presión en la descarga, en m
h_{fc} = Pérdidas por fricción en el arreglo, en m
h_v = Carga de velocidad, en m/s

6.7.4.2. Carga de velocidad

Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento, expresada por:

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \qquad \text{Ecuación 6.5}$$

donde:

h_v = Carga de velocidad, en m
V = Velocidad media de flujo en la conducción, en m/s
g = Aceleración de la gravedad, igual a 9.80665 m/s^2, a nivel del mar

6.7.4.3. Carga total de bombeo

Está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros

de columna de agua y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), el nivel dinámico, las pérdidas por fricción en la columna y la carga de velocidad. Su expresión matemática es:

$$H = P_{gd} + Z_d + h_{fc} + h_v \qquad \text{Ecuación 6.6}$$

donde:

H = Carga total de bombeo, en m

P_{gd} = Presión en la descarga, en metros de columna de agua, se mide directamente en el manómetro colocado inmediatamente después del cabezal de descarga (ver Ilustración 6.9). Normalmente la medición se realiza en kg/cm², referirse al apéndice para consultar los factores de conversión

Z_d = Nivel dinámico, en m

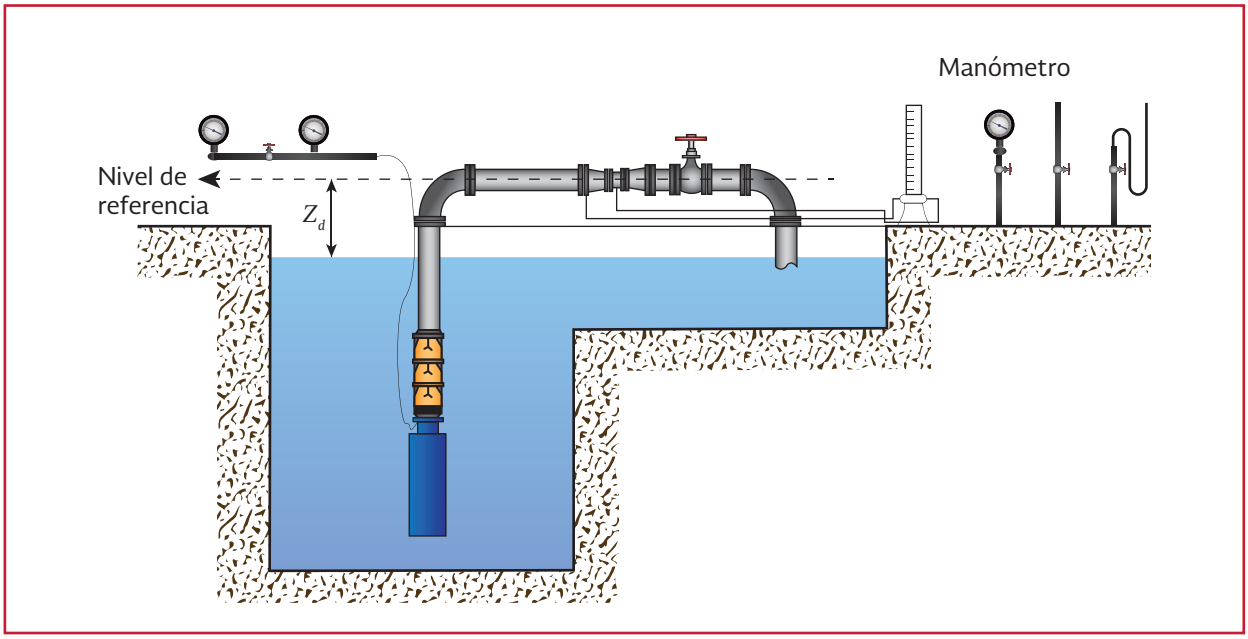
h_{fc} = Pérdidas por fricción en la columna en metros de columna de agua. Se determina por medio de tablas proporcionadas por el fabricante o manuales de hidráulica. Las pérdidas en el codo de descarga y otros accesorios no se consideran por ser poco significativas

hv = Carga de velocidad, en m

Para medir la presión de descarga se coloca un manómetro en la línea de descarga de la bomba sumergible, instalando cuatro tomas para la medición de presión, las tomas deben ser distribuidas a 90° alrededor de la circunferencia de la línea, como se muestra en la Ilustración 6.10.

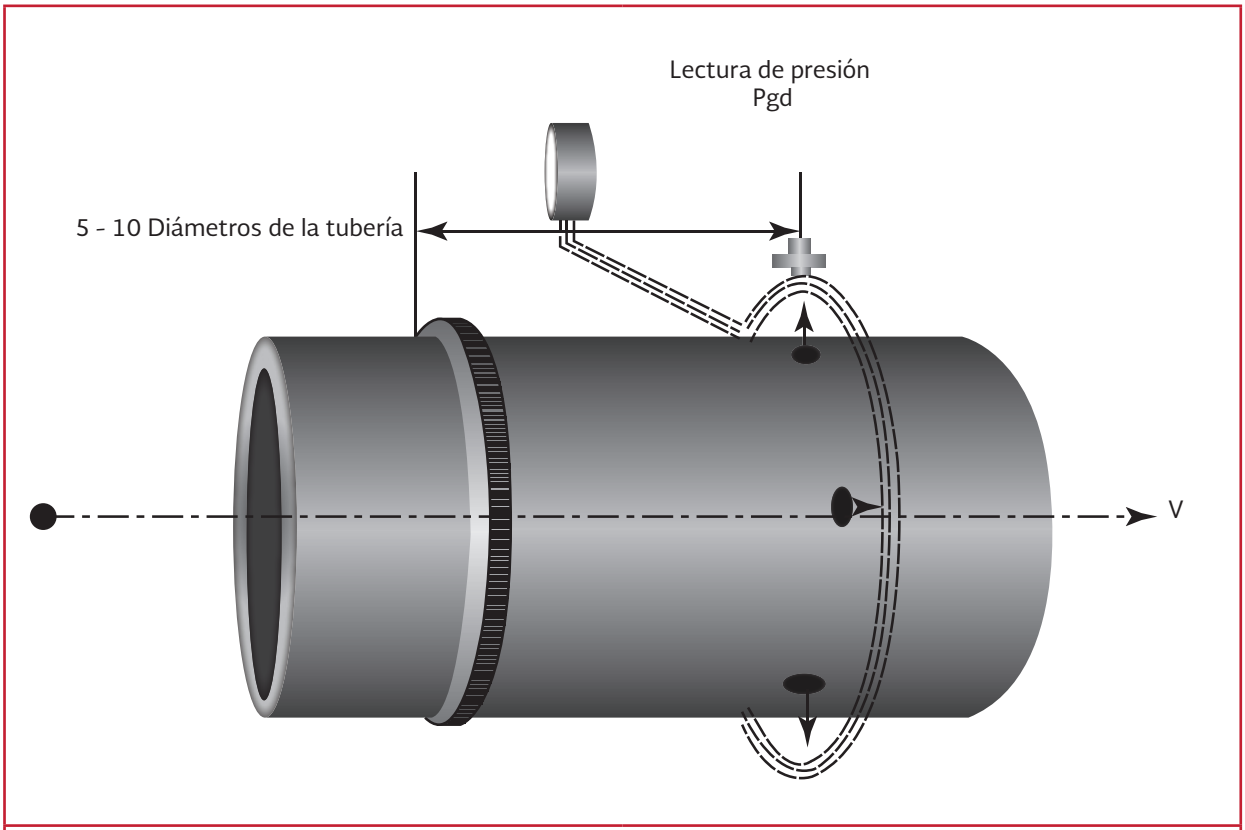
Las tomas de presión deben ser colocadas de 5 a 10 diámetros de la tubería, aguas abajo del codo

Ilustración 6.9 Instalación típica para conjunto motor-bomba sumergible



Fuente: NOM-010-ENER

Ilustración 6.10 Instalación de las tomas de presión



a) Instalación general de las tomas de presión

b) Para paredes gruesas

c) Para paredes delgadas

Fuente: NOM-010-ENER

de descarga, para tener un flujo estable. El diámetro de las tomas debe de ser de 3.18 a 6.35 mm, y la longitud de la perforación para las tomas de presión no debe ser menor a dos veces y medio dicho diámetro.

Las tomas de presión deben ser conectadas a través de válvulas a un cabezal, de tal forma que la presión de cualquier toma pueda ser medida si se requiere. Antes de tomar lecturas, cada toma es sucesivamente abierta, esto a las condiciones normales de prueba de la bomba sumergible. Si una de las lecturas muestra una diferencia mayor de 0.5 por ciento con respecto a la media aritmética de las cuatro mediciones, las condiciones de medición deben ser rectificadas antes de empezar la propia prueba.

6.8. Medición de parámetros eléctricos

Para la medición parámetros eléctricos de tensión y corriente consultar las norma NOM-014-ENER y NOM-016-ENER y el libro *Pruebas, puesta en servicio, operación y mantenimiento de equipos y materiales electromecánicos* del MAPAS.

6.8.1. Medición de la potencia eléctrica

Potencia eléctrica requerida. La medición de la potencia requerida por el sistema se obtiene a partir de las mediciones eléctricas de corriente, tensión y factor de potencia y es calculada como se indica con la Ecuación 6.7 o empleando un watt-metro cuando la medición es directa.

$$P_e = \sqrt{3}\,VIfp \qquad \text{Ecuación 6.7}$$

donde:

P_e = Potencia eléctrica de entrada al motor, en W
I = Corriente eléctrica, en ampere
V = Tensión eléctrica, en volts
fp = Factor de potencia, adimensional

Medición de la velocidad de rotación

La velocidad de rotación debe ser medida mediante un tacómetro de indicación directa, por un contador de revoluciones en un intervalo de tiempo, por un dínamo, por un contador óptico y un frecuencímetro o por medio de una medición directa (estroboscopio).

Medición de la potencia de entrada a la bomba

La potencia de entrada a la bomba debe ser determinada mediante la velocidad de rotación y el par, o mediante la medición de la potencia demandada por un motor eléctrico de eficiencia conocida, el cuál será directamente acoplado a la bomba dependiendo del método que se utilice.

1. ***Mediante la medición del par***. El par debe ser medido por un torquímetro certificado
2. ***Mediante la utilización de un motor trifásico de características conocidas***. La potencia eléctrica debe ser medida en forma directa mediante wattmetros, o en forma indirecta mediante: voltímetros, amperímetros, factorímetros

$$P = \sqrt{3}\,VIfp\,\eta_m \qquad \text{Ecuación 6.8}$$

donde:

η_m = Eficiencia del motor

6.9. Selección de la bomba adecuada

La selección de la bomba puede ser difícil, por lo que se recomienda realizar investigaciones preliminares, para lograr obtener los niveles máximos de eficiencia que requiere la instalación.

Nota importante:

Una selección inadecuada de la bomba ocasiona que el caudal de extracción sea mayor o menor al programado, provocando que la carga a la que opera el motor no sea la correcta, obteniendo de esta forma lecturas muy altas o muy bajas en las eficiencias, es decir, la bomba trabajará fuera de su punto de operación.

Ilustración 6.11 Medición del nivel dinámico de succión en cárcamos de rebombeo



Ilustración 6.12 Medición del nivel dinámico en cárcamos de rebombeo



Nota importante:

Los motores son diseñados para trabajar a una capacidad nominal y cuando operan por debajo de ésta se genera un factor de potencia bajo, que origina por principio una penalización por parte de la compañía suministradora al llevar a cabo una sobrefacturación en los consumos de energía en los aprovechamientos, además de no trabajar con los parámetros de eficiencia marcados en los motores por el fabricante. En conclusión, el resultado de una incorrecta selección de la bomba, son bajas eficiencias y altos consumos de energía.

Nota importante:

Tenga en cuenta, que una vez seleccionada correctamente la bomba, los cambios que se hagan al sistema de bombeo durante su etapa de construcción, provocarán que las condiciones que demanda el nuevo sistema no sean cubiertas de una manera eficiente por la bomba seleccionada originalmente, por lo que se recomienda volver a evaluar el sistema y seleccionar la bomba que satisfaga a éste.

La correcta selección, radica en conocer las condiciones en que trabajará la bomba. Se puede hacer una selección equivocada por no haber investigado los requisitos del sistema ni haber determinado cual debe ser la eficiencia.

6.10. Determinación de la eficiencia

Conociendo la eficiencia mínima, se realiza la evaluación de eficiencias admisibles y no admisibles. Cuando no se cuente con el dato de placa relativo a la capacidad del motor, deben compararse los kW de la potencia de entrada del mismo, con el fin de determinar el mínimo porcentaje de eficiencia con que deberá operar el sistema (equipo, cárcamo de bombeo etcétera).

Todos los sistemas de bombeo deben ser evaluados periódicamente con objeto de calificar su eficiencia electromecánica.

6.11. Predicción de eficiencia en bombas centrifugas

La eficiencia de las bombas centrífugas esta relacionada a la velocidad específica (Ns), tamaño de la bomba, carga neta positiva de succión (NPSH) y el tipo de bomba seleccionada disponible para las condiciones del servicio.

El estándar ANSI/HI[14] ha editado gráficas que son de gran ayuda para predecir la eficiencia de equipos de bombeo.

Estas toman en cuenta la velocidad específica y los límites de desviación de eficiencia que pudiera ser influida por:

- La calidad del producto
- Forma de la curva elegida
- Aspereza de la superficie
- Espacios libres internos
- Compromisos de fabricación
- Pérdidas mecánicas
- Capacidad para el manejo de sólidos
- Tolerancia en las pruebas

En la predicción de eficiencia, otros efectos perjudiciales, no se incluyen, como es el manejo de mezclas viscosas, aire, etcétera.

La eficiencia óptima, se obtiene cuando la velocidad específica está en la proximidad de 2,500 y la velocidad específica de succión se encuentra en la proximidad de 8 500.

Las bombas seleccionadas para velocidades específicas que no estén en la proximidad indicada

14 American National Standards Institute/Hydraulic Institute, 1.1-1.5

presentan bajas eficiencias. El estándar ANSI/ HI, establece las recomendaciones sobre límites de velocidad específica en la succión.

La determinación de la velocidad límite de rotación del equipo en r/min está relacionada con la velocidad específica de succión.

6.12. Factores que afectan la eficiencia

Existen condiciones que afectan negativamente la eficiencia del equipo de bombeo, en general corresponde a la fabricación del diseño del equipo. Entre las principales se tienen las siguientes:

Pérdidas volumétricas

Estas pérdidas son indicativas de una circulación de flujo del lado de alta presión al de baja presión del impulsor; aunque en general, estas pérdidas son pequeñas, pueden tomar importancia bajo condiciones de desgaste o desajuste de la bomba.

Pérdidas hidráulicas

Constituyen la diferencia entre la carga que podría obtenerse de la energía disponible en el impulsor y aquella que realmente se desarrolla; las más importantes son por choque de entrada, generadas por el cambio de dirección del líquido y por fricción del líquido, al fluir.

Cavitación

La cavitación es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o, más correctamente, cavidades. Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que se origina este fenómeno ver Ilustración 6.13.

Nota importante:

El fenómeno de cavitación para una bomba, además de producirle grandes ruidos y vibraciones, puede ocasionarle daños severos y acortar su vida útil. Relacionado a las características de la red, para evitar la aparición de la cavitación se debe controlar la altura de succión, es decir, la altura a la cual se debe ubicar la bomba en relación a la altura o nivel de extracción del líquido.

Para determinar la altura máxima de ubicación de una bomba se debe calcular la carga neta positiva de succión (NPSH) disponible a la entrada de la bomba para que no se produzca cavitación.

Ilustración 6.13 Daños ocasionados por cavitación



Pérdidas mecánicas

Se deben principalmente a la fricción de cojinetes, empaques o sellos y a la fricción del disco generada entre los lados del impulsor y el líquido.

Características del líquido

Las condiciones del fluido a manejar, tienen consecuencias sustantivas sobre la operación de las bombas centrífugas. Ya que pueden afectar la construcción del equipo, y por lo tanto, el rendimiento y la potencia. Entre las más importantes tenemos la corrosión, temperatura a manejar, tamaño de partículas en el líquido y uso al que se destinará, entre otras.

Mientras más desfavorables sean las condiciones, mayores serán las exigencias constructivas en cuanto a materiales, metalurgia, tipo de impulsores, accesorios propios de la bomba, etcétera.

Condiciones de instalación

Existen condiciones de instalación que influyen negativamente en la eficiencia del equipo de bombeo; podemos citar las siguientes:

1. ***Pérdidas en motor y acoplamiento***
   Aunque son externas a la bomba, es conveniente saber que estos componentes influyen en la eficiencia global. Aquí nos referimos a su rendimiento y diseño; sin embargo, es importante aclarar que el montaje apropiado del conjunto bomba-motor es necesario, para asegurar la máxima eficiencia
   Una deficiente alineación impone cargas adicionales sobre los cojinetes y flexión en una o varias de las flechas del conjunto, ocasionando pérdidas de eficiencia y un mayor consumo de energía debido a la fricción y al desbalance mecánico; lo cual provoca vibraciones dañinas a los equipos, afectando la eficiencia global.
   La temperatura ambiente también puede tener efectos en la eficiencia, pues en el caso de los motores la reduce a medida que sea más alta y en caso de ser muy extremosa, provoca esfuerzos y deformaciones en los equipos, es por ello que deberá tomarse en cuenta al realizar el montaje y puesta en servicio, sobre todo permitiendo que se estabilice, antes de restringir el movimiento del conjunto
2. ***Pérdidas en la bomba***
   Las vibraciones, ruido, movimientos y desbalance del equipo tienen consecuencia en la operación hidráulica, ya que se afectan tolerancias y cargas, reduciendo la capacidad real del mismo, requiriendo para ello una mayor potencia y como consecuencia disminuye la eficiencia.
   A menudo, la causa raíz de que los niveles de vibración y ruido sean demasiado altos está relacionada con una desalineación del eje, lubricación inadecuada, un montaje incorrecto y disposiciones de rodamientos inapropiados o un enfriamiento ineficaz. Los altos niveles de vibración aumentan el consumo de energía y pueden causar averías prematuras de los equipos y elevados costes de mantenimiento, lo cual incluye con frecuencia paros imprevistos.
   La densidad menor de la mezcla líquido-vapor, provoca una reducción en el volumen real bombeado y por lo tanto la eficiencia disminuye. Asimismo, se inducen vibraciones y si el fenómeno es severo, puede causar daños internos a otras instalaciones y equipos e incluso el colapso del propio impulsor

3. ***Alineación***
   La correcta alineación de la bomba y el motor, es de suma importancia para conseguir una operación mecánica libre de problemas; por lo que esta se debe verificar de acuerdo a recomendaciones del fabricante
4. ***Impulsores***
   Se deben ajustar los impulsores antes de intentar poner en marcha la bomba. Una bomba nueva se debe operar con los impulsores ajustados a la mitad del juego lateral de acuerdo con recomendaciones del fabricante, esto es con el objeto de que la arena presente en el agua, no provoque un desgaste excesivo en la bomba lo cual afectaría a la bomba, especialmente a los impulsores. Una vez que el agua deje de salir con arena, los impulsores se podrán ajustar a su posición de trabajo más eficiente
   Por otra parte, las bombas que poseen un impulsor de acero inoxidable resultan ser menos eficientes que las de bronce

Recorte de impulsores

El recorte de impulsor es una técnica empleada desde hace mucho tiempo para cubrir lagunas en las líneas de fabricación; de nueva cuenta enfatizamos que las relaciones de afinidad nos permitirán saber si recortando el impulsor tendremos un punto de operación óptimo.

Consideraciones de operación

Estas consideraciones son solo algunas de muchas causas de ineficiencia.

1. Velocidad de giro alta
2. Presión de carga excesiva
3. Peso específico del fluido
4. Sometimiento de la bomba a tensiones
5. Falta de grasa o grasa inadecuada
6. Contra presión excesiva
7. Cebado insuficiente
8. Taponamiento de tubería
9. Penetración de aire por el estopero
10. Dirección de giro
11. Velocidad de giro demasiado lenta
12. Fuertes desgastes de las piezas interiores
13. Sellos desgastados
14. Camisa de la flecha con estrías
15. Agua de refrigeración
16. Golpeteo de la flecha

Acuíferos

Las causas a las que se atribuyen las bajas eficiencias del sistema con las que operan en general el aprovechamiento del acuífero se atribuyen a:

1. Abatimiento del nivel dinámico
2. Selección del equipo de bombeo (eficiencia de los impulsores y número adecuado de tazones)
3. Selección de la potencia del motor
4. Mantenimiento preventivo a bombas y motores
5. Calidad de la información

Así mismo, uno de los parámetros más importantes y que condiciona las eficiencias electromecánicas de los equipos, es el gasto o caudal de operación. En muchos casos, las eficiencias de los equipos se ven determinadas por los bajos gastos de producción. Se justifica un bajo rendimiento en los equipos, si tomamos en cuenta

que los acuíferos sufren abatimientos y que esto conlleva a que las cámaras de bombeo se reduzcan paulatinamente, provocando con esto bajos caudales de extracción.

Además, el bajo rendimiento de los aprovechamientos puede estar relacionado a la falta de mantenimiento de los equipos, ya que al paso del tiempo, se van generando irregularidades, tales como: incrustaciones en la tubería ranurada, que obstruye la circulación libre del acuífero, reduciendo consecuentemente los gastos de extracción.

Ante estas circunstancias, es evidente la realización de un diagnóstico más detallado que permita llevar a cabo mediciones directamente en todos los aprovechamientos y de esta manera, poder identificar con precisión y total certeza, las causas que ocasiona la baja eficiencia con la que operan actualmente los aprovechamientos.

Si el diagnóstico lo indicara y el equipo opera desde hace algún tiempo de manera ininterrumpida, manifestando baja eficiencia y más, si ha tenido escaso mantenimiento, pudiera ser necesario desmontarlo y evaluar si existe desgaste en sus componentes ya que este afecta su eficiencia

Sobredimensionamiento

El sobredimensionamiento de los equipos, es producto de un mal cálculo, falta de previsión y en algunos casos de información pobre, lo cual ocasiona que se disponga de equipos que no cumplan con las características que requiere el sistema hidráulico.

Sabemos que al sobredimensionar un equipo, se producen desventajas que ocasionan se pierda eficiencia en el sistema, obteniéndose con ello gastos de energía innecesarios.

6.13. Factores que incrementan la eficiencia

Para mantener, prever o controlar la eficiencia, podemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Selección del equipo de bombeo (motor-bomba) apropiado, teniendo el conocimiento pleno del sistema
- Acabado de la superficie de los impulsores
- Selección adecuada de la velocidad especifica de succión
- Control de líquidos viscosos
- Control de concentraciones de grandes volúmenes de sólidos
- Control del tamaño de sólidos
- Control de fricción en cojinetes, empaques o sellos
- Montaje apropiado del equipo (bomba-motor)
- Corregir desbalances
- Reducir vibraciones
- Alineación del equipo en forma programada
- Controlar la temperatura de operación del motor
- Evitar recortes de impulsores
- Controlar la velocidad del equipo
- Controlar la presión del fluido
- Evitar tensiones mecánicas en tuberías
- Reposición de grasa adecuada
- Verificar el cebado de bomba y tubería
- Evitar entrada de aire
- Cambiar sellos
- Controlar el abatimiento del nivel dinámico
- Control del peso especifico del fluido que impulsa la bomba

- Nivelación de la flecha
- Verificar presión de succión y descarga
- Evaluar la eficiencia energética para priorizar inversión del mantenimiento
- Estudiar las presiones transitorias del acueducto
- Calibrar la lógica de operación del sistema
- Revisar la lógica de paro y arranque del sistema
- Revisar el sistema de medición del acueducto
- Revisar el calendario de mantenimiento
- Implementar un sistema de mantenimiento de las líneas por medio de balas o diablos para disminuir las pérdidas

Mantenimiento adecuado del equipo

En este rubro, las revisiones al cuerpo de tazones en una bomba dependerán del número de horas en operación acumuladas, la severidad de las condiciones de servicio y el cuidado que se haya tenido en la bomba durante la operación. El cuerpo de tazones no deberá extraerse para su inspección, a menos que sea una indicación definida o el funcionamiento de la bomba este mal.

Evidentemente, el mal funcionamiento, se nota en la disminución de la capacidad, presión o un significativo cambio en la vibración o ruido durante su operación.

Los pozos que utilicen la energía eléctrica como medio energético para sus fines y que derivado de un diagnóstico de eficiencia electromecánica, esta resulte menor o igual al 40 por ciento en forma combinada, se sugiere efectuar la rehabilitación o sustitución del equipo electromecánico. Los valores de eficiencia mínimos que deban cumplir los equipos reparados o rehabilitados, deben ser verificados con el método de prueba descrito en las Normas.

Los trabajos de rehabilitación o sustitución necesarios para lograr un incremento en la eficiencia de los equipos electromecánicos se determinan de común acuerdo, entre el propietario del equipo y el fabricante al que se le asignen los trabajos, compartiendo en partes iguales la responsabilidad en la obtención de los resultados. (Al respecto se recomienda consultar a esta Coordinación).

Nota importante:

El contratista de ingeniería debe realizar las pruebas de campo del equipo de bombeo, proporcionando la curva real de operación de éste, para verificar la eficiencia que dé inicio se solicitó.

6.14. Consideraciones de ingeniería y obra

Verificación de la eficiencia garantizada

La eficiencia garantizada debe concordar con el punto de operación definido por el Punto de Intersección de la curva flujo-carga y la línea recta que va desde el origen y pasa a través del punto de operación garantizado. La eficiencia en este punto debe ser como mínimo 0.972 de la especificada.

Cuando las características de una bomba sumergible difieren a las características especificadas, una práctica común para alcanzar los valores de gasto y carga (q_v y H), generalmente se disminuye el diámetro de salida del impulsor y de los alabes, lo cual implica un cambio de condición en la eficiencia de una bomba sumergible. Este cambio se refleja considerablemente como una disminución de la eficiencia, así como en una caída en la curva de comportamiento. La eficiencia de una bom-

ba sumergible puede suponerse prácticamente inalterada cuando se realiza un recorte no mayor a 1 por ciento del diámetro de salida del impulsor y las tolerancias permitidas a las que se deberá sujetar la prueba, deben ser concertadas entre cliente y proveedor.

Operación alejada del punto de mejor eficiencia

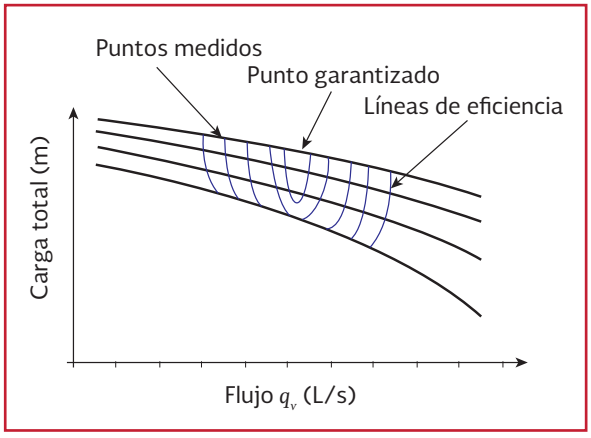
Las bombas centrífugas se diseñan para operar eficientemente a una carga, un gasto y una velocidad específica. A este punto de operación, se le conoce como ver Ilustración 6.14:

"el punto de mejor eficiencia"

Considerando el costo de la energía, es más eficiente operar la bomba en este punto. Los equipos a menudo no operan en estas condiciones, debido a cambios en la operación del sistema y a la dificultad de igualar las condiciones de operación con el punto de mejor eficiencia de la bomba. Al operar el equipo fuera de este punto, se requiere de un esfuerzo adicional en algunas partes de la bomba y puede ocasionar daños en esta.

Por otra parte, operar los equipos a una mayor capacidad respecto al punto de óptima eficiencia

Ilustración 6.14 Curva esquemática de capacidad vs carga total para la verificación de la eficiencia garantizada



puede provocar mayores daños, ejemplo de ello es mayor par de torsión, flexión o desviación de la flecha, la carga neta positiva de succión requerida puede ser mucho mayor que la disponible, ocasionando erosión, ruido y vibración debido a la alta velocidad del líquido.

Por lo anterior las características con las cuales la bomba debe operar, siempre deberán ser discutidas y acordadas con el fabricante.

Recepción y almacenamiento

Después de recibir un equipo de bombeo se debe inspeccionar y verificar a contra orden de embarque. Deben de examinarse los paquetes que lo componen y sus envolturas antes de desecharlas. Algunas partes o accesorios son envueltos individualmente o amarrados al conjunto. Se sugiere reportar cualquier daño o pérdida que se note al proveedor del equipo.

Es importante tener en cuenta que si se van a almacenar los equipos por un periodo de tiempo corto, antes de ser instalados, deben de colocarse en un lugar seco y protegerse contra la humedad y el medio ambiente.

Las bridas de protección de la succión y descarga con que se reciben los equipos no deben ser removidas, es importante también que se protejan los rodamientos y acoplamientos contra la arena, polvo y otras materias extrañas, para prevenir la oxidación o que la bomba se pegue; así mismo, se debe lubricar la unidad y girar el rotor a mano por lo menos una vez a la semana.

Si la bomba es almacenada y no se utiliza por un largo tiempo, se recomienda que por ningún motivo sufra daño; también debemos asegurarnos que el equipo no contenga, ni esté en con-

tacto con elementos que podrían causar oxidación de las partes internas, como resultado del almacenamiento.

Se sugiere el petróleo destilado como solvente para prevenir la oxidación; debe tenerse especial cuidado en retirar cualquier rastro de material protector de las caras de las bridas de succión o de descarga de la parte exterior de la flecha y de todas las superficies, antes de ensamblar.

Sistemas de conducción

En vista de que hemos hablado de la conservación y optimización de la eficiencia de los equipos, es importante no olvidar los elementos que conforman el sistema, es valioso contar con la adecuada conducción y abastecimiento del fluido para los equipos que estén en operación; por ello se debe hacer la adecuada selección del material y diámetro de la tubería y así evitar pérdidas ocasionadas por la fricción del fluido, lo cual es uno de los factores que empobrecen la eficiencia.

Válvulas de control

Las válvulas de control son válvulas automáticas que trabajan hidráulicamente con la presión de la línea de conducción y que tienen los siguientes objetivos:

1. Controlar presiones y gastos. Permiten reducir presiones, sostener presiones, regular gastos preestablecidos, a efecto de distribuir el agua potable de forma eficiente y efectiva dando a cada tramo de red solo lo necesario, garantizando el abasto de las partes altas y evitando sobre presiones que tengan como consecuencia la presencia de fugas
2. Controlar niveles en tanques. Permiten ayudar de forma efectiva en el llenado y recarga de tanques incluso elevados con lo cual se evita un derrame del vital líquido con su traducción en ahorro de energía al bombear solo lo necesario
3. Protección de equipos y seguridad. Permiten el alivio de exceso de presiones que se puedan traducir en fugas y daños a la infraestructura; eliminan el golpe de ariete y sus consecuencias desastrosas, protegen equipos de bombeo ayudando a conservar su punto de operación, eficiencia y con eso evitar consumos de energía variables en paros y arranques, además de proteger de sobre presiones y fallos de energía

Selección de válvulas

Con el uso de válvulas de paso completo es decir aquellas que no oponen resistencia al paso del flujo podemos optimizar la operación de las bombas en la descarga de las mismas. Este tipo de instalaciones presentan ahorros considerables en el consumo de energía y pueden sustituir al uso tradicional de instalación de válvulas check - compuerta - mariposa.

La selección adecuada de válvulas provoca menores esfuerzos de operación al equipo de bombeo, por ello no debemos hacer a un lado la importancia de dicha selección.

6.15. Ejemplo de eficiencia energética de motores y bombas

Ejemplo 1

Un proceso requiere 950 L/s con una carga total de 45 m. Asumiendo que una bomba centrifuga será impulsada por un motor de 700 hp de potencia, considerando una operación de 8 000 horas por año.

Una primera alternativa es utilizar una bomba con eficiencia (η_1) de 81 por ciento en el punto de operación; una segunda alternativa corresponde a una eficiencia de 78 por ciento (η_2). ¿Cuál es la energía ahorrada con la primera alternativa?

$$P = \frac{\gamma Q H}{0.7457}\left(\frac{1}{\eta_2} - \frac{1}{\eta_1}\right) \qquad \text{Ecuación 6.9}$$

donde:

P	=	Potencia de salida, en hp
γ	=	Peso especifico del agua, en N/m^3
Q	=	Gasto en m^3/s
H	=	Carga total, en m

Por tanto la carga resulta:

$$P = \frac{9\,800\left(\frac{950}{1\,000}\right)(45)}{0.7457}\left(\frac{1}{0.78} - \frac{1}{0.81}\right) = 26.68\,hp$$

Asumiendo una eficiencia del 96 por ciento del motor de la bomba, el ahorro anual de energía resulta:

$$Energia_{ahorrada} = \frac{26.68\,hp\left(0.745\frac{kW}{hp}\right)\left(8\,000\frac{hr}{año}\right)}{0.96}$$
$$= 165\,776.35\frac{kWh}{año}$$

Ejemplo 2

Las pruebas de eficiencia indican que una bomba centrifuga de 300 hp de potencia, opera con una eficiencia de 55 por ciento. Por otra parte la curva de operación, del fabricante, indica que debería trabajar a 78 por ciento de eficiencia, La bomba consume 235 kW y opera 600 horas por año. Asumiendo que la bomba puede ser restaurada a su condición de fábrica, ¿cuál sería el ahorro de energía?.

$$Energia_{ahorrada} = \left(235\ kW\right)\left(6\,000\frac{hr}{año}\right)\left(1-\left(\frac{0.55}{0.78}\right)\right)$$
$$= 415\ 769\frac{kWh}{año}$$

Ejemplo 3

En este ejemplo se muestra la energía que podría ser ahorrada al no utilizar una bomba sobredimensionada. Asumiendo que se tienen dos equipos con capacidad de 220 L/s y una potencia de 200 hp, cada una. Ambas se utilizan en el verano, pero dos terceras partes del flujo es derivado durante los meses restantes.

Una bomba de 220 L/s es remplazada con otra de 110 L/s que tiene la misma carga que la original. Sin embargo el nuevo equipo requiere únicamente 50 hp de potencia. Con estas características se puede cumplir con los requerimientos del bombeo durante nueve meses, en los cuatro meses del veranos se operan los equipos originales. Asumiendo una operación continua con una eficiencia de 93 por ciento para ambos motores, es posible calcular el ahorro de energía con la combinación de bombas de 200 y 50 hp.

$$Energia_{ahorrada} = \frac{(200-50)}{0.93}\left(00.745\frac{kW}{hp}\right)$$
$$\left(\frac{9\ meses}{12\ meses}\right)\left(8\,760\,\frac{hr}{año}\right)$$
$$= 790\,520.23\frac{kWh}{año}$$

7

Ahorro y uso eficiente de energía eléctrica

7.1. Sector hidráulico

El Programa Nacional Hidráulico es el principal instrumento de planeación y de acuerdo a su perspectiva, estamos conscientes que la sobreexplotación de los acuíferos es cada vez más grave; en México tenemos 654 acuíferos identificados, donde 104 son explotados en exceso, ya que de estos se extrae el 50% del agua subterránea que se utiliza. Las extracciones, ya sean de origen subterráneo o superficial, son realizadas con auxilio de equipo electromecánico; de tal forma que la gran cantidad de agua que se extrae es superior a la recarga, y esto altera la operación en los equipos de bombeo.

Así mismo, existen plantas de tratamiento, desaladoras y potabilizadoras, que para su operación requieren de una estructura conformada por equipos que consumen energía eléctrica para lograr su proceso, como son los sopladores, filtros, rejillas, etc. Por otra parte, dichos equipos presentan problemas de incrustación salina y materia orgánica, afectando de forma perjudicial el comportamiento y la eficiencia en el sistema.

Desde el punto de vista económico, algunas consecuencias de la sobreexplotación de los acuíferos son: el incremento en los costos de extracción para bombear el agua que se encuentra a una mayor profundidad, así como el requerimiento de una mayor cantidad de energía eléctrica. El Sector Hidráulico gasta más de $11,000 millones anualmente, por consumo de energía eléctrica; en sistemas de bombeo de agua potable y saneamiento; dado que existen equipos con muchos años de operación, bajos niveles de eficiencia, parámetros que difieren de los valores nominales de placa, provocando deficiencias operativas.

7.2. Sector eléctrico[15]

El estudio en el desarrollo del mercado eléctrico para los próximos años tiene como objetivo estimar las trayectorias futuras del consumo y la demanda máxima de electricidad a nivel nacional. Dichas estimaciones permiten identificar los requerimientos de capacidad y energía necesarios para satisfacer el consumo. Llevar a cabo un estudio que el mercado eléctrico requiere de la actualización y análisis de la información más reciente sobre el consumo de diversos sectores con la finalidad de identificar, cómo el comportamiento de las condiciones económicas, tecnológicas y demográficas afecta el nivel y la estructura del consumo eléctrico en el país.

15 Prospectiva del sector eléctrico 2013-2027, SENER (2013)

El Sector Eléctrico Nacional, mantuvo desde 1962 - 1973 un costo medio de $0.0002 por kWh. En los siguientes años, los incrementos no fueron sustantivos. Fue hasta 1979 en donde llegó a costar $0.0006, pasando a $0.09 en 1988, logrando en el periodo un costo promedio de $0.017. El costo de la energía en la mediana industria, por cada kWh creció de $0.0915 en 1988 a $0.70 en 2002. En 2014, se reporta que el costo alcanzó un valor de $1.35 por kWh, frente al $1.30 observado en 2008.

En lo referente al consumo de energía en el país, este pasó de 56 980 GWh en 1962, a 100 000 GWh en 1991, con tasa media de crecimiento anual de 5.8 por ciento. En la década de los 90´s, creció hasta 166 484 GWh. En el periodo 2001-2006 la tasa media de crecimiento anual disminuyó de 6.3 a 4.8 por ciento. Esto, como consecuencia de la reducción permanente durante estos últimos años, de las proyecciones anuales de la SENER y de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) sobre el crecimiento de la economía del país. La estimación en 2012 para el incremento anual del consumo eléctrico en un periodo de 2013-2027 es de 5.4 por ciento. Lo anterior se deriva de un crecimiento anual del Producto Interno Bruto (PIB) de 3.6 por ciento. Por lo tanto, en 2008 el consumo de energía en el país pasó a ser de 208.3 TWh y se estima que para 2027 llegue a 403.5 GWh.

El Sistema Eléctrico Nacional, requiere de una capacidad de generación de 88 200 MW; para lograrlo, requerirá de una inversión de 1 562 969 millones de pesos (precios del 2012). El monto total necesario estimado para el periodo 2013–2020 es de 103 176 millones de pesos (cifras 2012), con la siguiente composición: 50.92 por ciento para generación, 15.37 por ciento en obras de transmisión, 19.06 por ciento para distribución, 14.08 por ciento en los procesos del mantenimiento de centrales y 0.57 por ciento para otras inversiones.

Por otro lado, analizando la relación Precio/Costo de la energía, la inflación presente entre 1992-1993, se ancló a través de las tarifas de energía, logrando una relación de 0.95 por abajo de la mínima recomendada. En 2007 esta relación era de 0.69 y en 2012 fue de 0.8.

El Sector Eléctrico Nacional, pugna por tener un esquema tarifario que cubra los costos a corto y largo plazo; además, que el sistema de subsidios a las tarifas sea transparente.

7.3. Tarifas de suministro de energía eléctrica

Las tarifas de energía eléctrica se clasifican de acuerdo a disposiciones específicas que contienen las cuotas y condiciones que rigen para los suministros de energía eléctrica agrupados en cada clase de servicio.

Estas tarifas se pueden consultar en el sitio de Internet de Comisión Federal de Electricidad (http//www.cfe.gob.mx).

Las tarifas aplicables a Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento son las siguientes:

- Tarifa 6. Específica para servicio de bombeo de agua potable o residual de servicio público

- Tarifa O-M. Ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100 kW
- Tarifa H-M y H-MC. Horaria para servicio general en Media Tensión, con demanda de 100 kW o más
- Tarifas de cargo fijo OMF y HMF. Que aplica a tarifas en media tensión
- Tarifa H-S, H-SL y H-MC. Horaria en Alta Tensión
- Tarifas de cargo fijo HSF y HTF. Que aplica a tarifas en Alta tensión

Como medida de optimización de recursos económicos, se puede evaluar la tarifa con la cual se esta trabajando y en su caso se puede cambiar la tarifa por otra que resulte más rentable. Este análisis se puede dividir en dos pasos.

1. Identificar la o las tarifas en que se encuentran los servicios contratados por el organismo operador, así como sus capacidades instantáneas y consumos
2. Realizar una evaluación de las distintas alternativas de tarifa y el probable costo de energía eléctrica

Este análisis se presenta de forma gráfica en la Ilustración 7.1 y a continuación se presentan algunas recomendaciones para realizar el análisis de la tarifa en función del tipo se servicio contratado.

Sistemas en baja tensión

En sistemas de bombeo con suministro en baja tensión, analizar las siguientes alternativas:

a) Si está contratado en tarifa 2 o 3, evaluar el cambiar a tarifa 6, o considerar la instalación de un transformador y cambiarse a tarifa OM

b) Si está contratado en tarifa 6, evaluar la instalación de un transformador y cambiarse a tarifa OM o HM (tarifas en media tensión)

Sistemas en media tensión

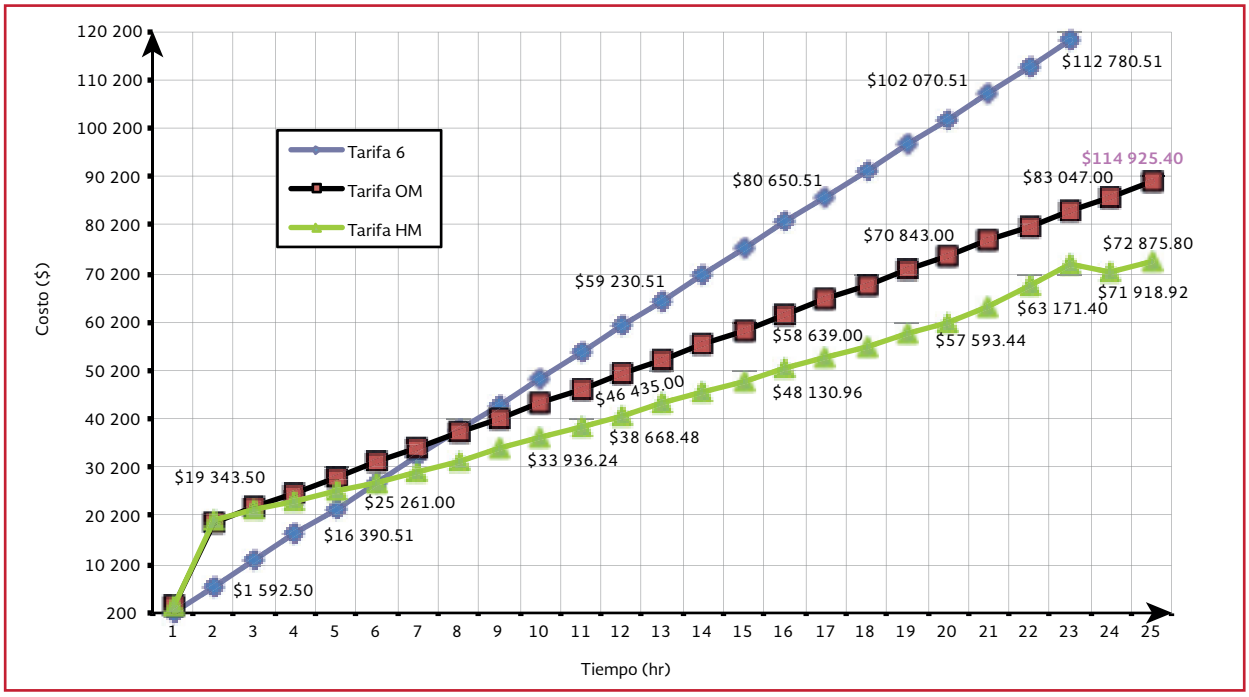
En sistemas de bombeo con suministro en media tensión, analizar las siguientes alternativas:

a) Si la demanda es menor a 100 kW, evaluar entre las tarifas 6 y OM cuál resultaría más económica y si no se está contratado en la más económica de las tres, solicitar la incorporación a esta tarifa
b) Si la demanda es mayor a 100 kW, evaluar entre las tarifas 6 y HM la que resulte más económica y si no se está contratado en la más económica, solicitar la incorporación a esta tarifa
c) Si la demanda es mayor a 1 000 kW, considerar la instalación de una subestación en alta tensión, verificar con la compañía suministradora la disponibilidad de suministro a esta tensión, y en caso de haber disponibilidad, calcular los ahorros a lograrse con la incorporación a la tarifa en alta tensión y realizar la evaluación económica de realizar la inversión en la subestación. Éste es un caso muy especial, debido a que se tendrá que considerar un cambio de subestación del usuario así como todos los dispositivos de control y protección necesarios

Sistemas conectados en alta tensión

En sistemas de bombeo con suministro en alta tensión, analizar el tipo de suministro, evaluar las tarifas en la cual se encuentra 6, HS, y HSL, cuál resultaría más económica y si no se está

Ilustración 7.1 Ejemplo de comparación de los costos mensuales relativos a la potencia



contratado en la más económica de las tres, solicitar la incorporación a esta tarifa.

7.4. Factores que implican un mayor consumo de energía eléctrica

El ahorro de energía en los equipos, comienza con la selección apropiada del motor; siempre existe uno adecuado a las necesidades, como son: las condiciones ambientales, operación, arranque, velocidad, tamaño y potencia. Los mayores ahorros de energía eléctrica se obtienen cuando el motor y su carga operan a su capacidad nominal.

7.4.1. Factor de potencia

Es el factor de aprovechamiento del consumo de energía eléctrica en trabajo útil o fuerza mecánica, que es el cociente de la potencia activa (KW) entre la potencia aparente (KVA).

El factor de potencia mínimo recomendable, es de 90 por ciento. Cuando se tiene un valor superior al 90 por ciento, se aplica una bonificación por parte de la Compañía Suministradora, mientras que un porcentaje menor significa energía que se desperdicia y la empresa aplica un cargo.

En los circuitos eléctricos de corriente directa, la potencia es el producto de la tensión por la corriente. En corriente alterna, se presenta un ángulo φ; el coseno, de este ángulo es un factor de corrección, por el que hay que multiplicar el producto de la tensión por la corriente, para obtener la potencia real es decir:

$$P = \sqrt{3}\, V I \cos\varphi \qquad \text{Ecuación 7.1}$$

La potencia real, se designa normalmente como potencia activa y el parámetro Cosφ, es el factor de potencia (F.P.) y nos indica el desfase que existe entre la tensión y la componente fundamental de la corriente, esto es:

$$F.P. = Cos\,\varphi = \frac{P}{S} = \frac{k\,W}{k\,VA}$$

Ecuación 7.2

La potencia obtenida con la expresión anterior, se denomina potencia reactiva, que es la encargada de generar el flujo electromagnético que requieren los motores y transformadores para su funcionamiento cuando están instalados y conectados. Al existir una gran cantidad de estos equipos en una instalación, los requerimientos de potencia reactiva también aumentan, lo cual produce una disminución en el factor de potencia.

Un bajo factor de potencia, reduce la eficiencia en los equipos eléctricos y causa efectos negativos, como son:

- Aumento en la intensidad de corriente.
- Caída de tensión
- Sobrecargas en transformadores, generadores y líneas de distribución
- La temperatura en cables aumenta ocasionando pérdidas

Los motores producen un bajo factor de potencia, cuando trabajan por debajo del 50 por ciento de la carga. Así también, el calibre de los conductores en los equipos, se diseñan para ser usados con un cierto valor de corriente; para no ser dañados, se deben operar sin que la corriente sobrepase ese valor de diseño. El exceso de corriente, debido al bajo factor de potencia, obliga a utilizar conductores de mayor calibre.

El uso de equipos electrónicos como computadoras, convertidores, variadores de frecuencia, arrancadores de estado sólido y otros componentes, complica la corrección del factor de potencia, ya que producen cargas no lineales.

Cuando el factor de potencia se corrige se logran ahorros y beneficios, como son:

- Se elimina el cargo por bajo factor de potencia
- Se reducen las caídas de tensión
- Disminuyen las pérdidas por efecto Joule (I^2R) en transformadores, cables y otros equipos
- Ayuda a estabilizar la tensión del sistema
- Se incrementa la vida útil de equipos e instalaciones
- Se ofrece una bonificación cuando se tiene un factor de potencia mayor a 0.9

En la Ilustración 7.2 y la Ilustración 7.3 se muestra cómo afecta el factor de potencia a la capacidad de un equipo.

Ilustración 7.2 Factor de potencia contra la capacidad

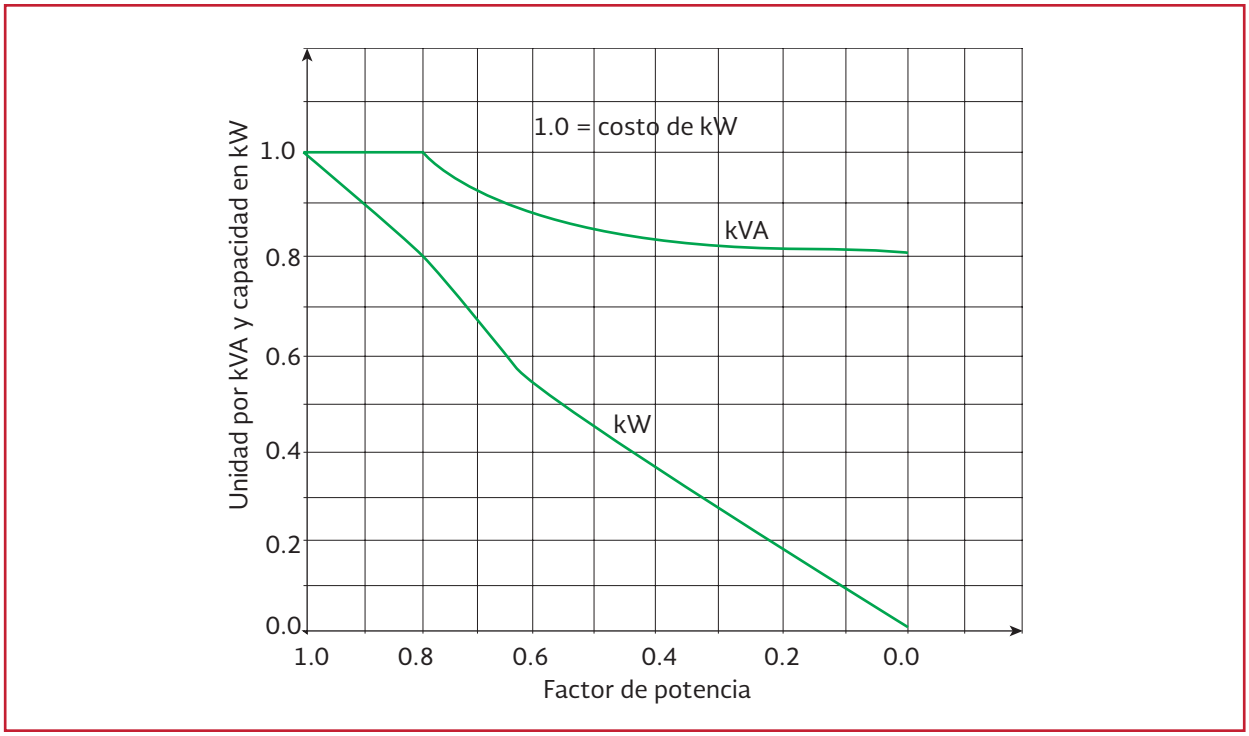
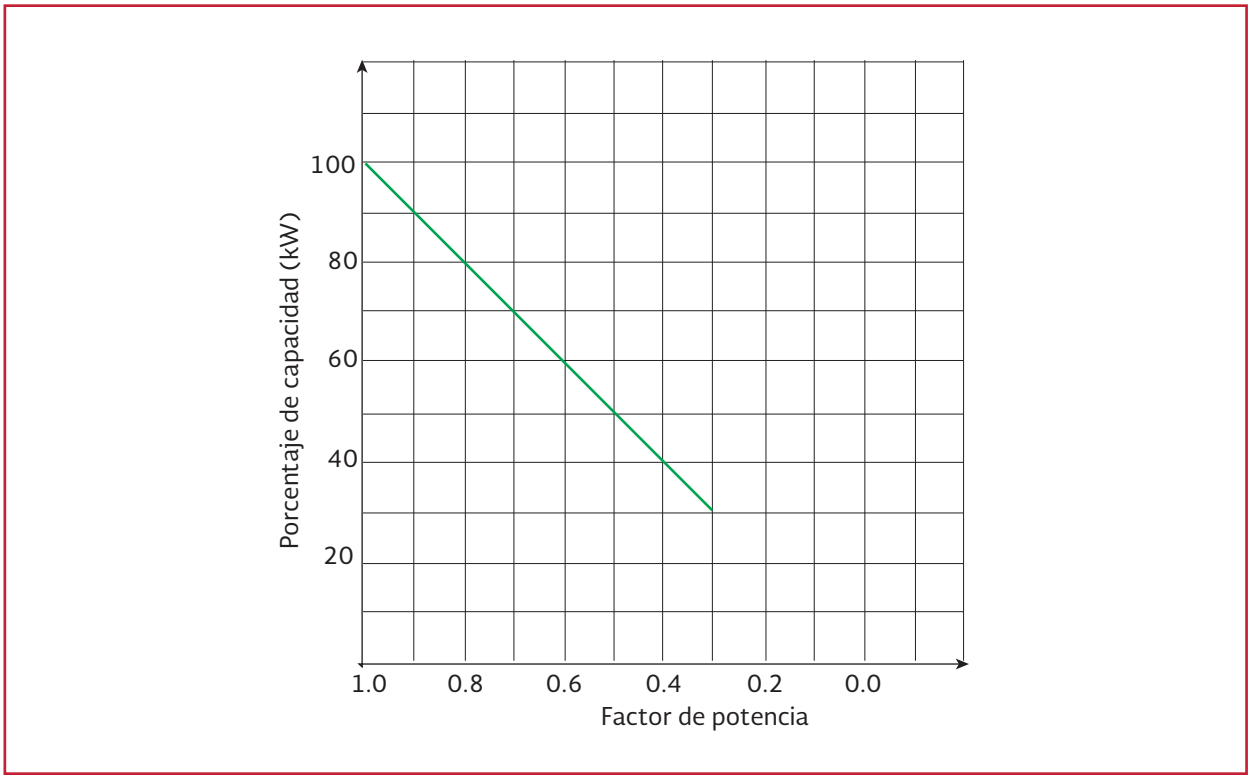


Ilustración 7.3 Factor de potencia contra el porcentaje de capacidad



7.4.2. Armónicas

La utilización de equipo electrónico y semiconductores electrónicos de potencia ha cambiado las características de carga en las instalaciones eléctricas modernas, a estas cargas se les denomina cargas no lineales, y el efecto que producen, son las armónicas.

Las armónicas distorsionan la forma original de onda de la tensión y la corriente suministrada, son múltiplos de la frecuencia fundamental. Así, en sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima (420 Hz), por ejemplo.

Los motores están diseñados para operar, con energía eléctrica a una frecuencia de 60 Hz y una forma de onda sinusoidal. Utilizar la energía eléctrica con una onda distorsionada, disminuye la eficiencia del motor.

Las armónicas generadas por los rectificadores trifásicos, tiristores de potencia, equipos conversores AC/DC y controladores de motores, distorsionan la tensión y causan problemas a otras cargas conectadas a la línea.

Ejemplo de ello son:

- Ruido excesivo y sobrecalentamiento en transformadores y motores eléctricos
- Efectos perjudiciales en equipos de control y regulación
- Sobrecalentamiento de capacitores y cables
- Velocidad súbita de dispositivos eléctricos
- Fallas en computadoras
- Errores en equipos de medición
- Fenómenos de resonancia
- Reducción en la vida útil de los equipos

7.4.3. Pérdidas de potencia

No toda la energía eléctrica que un motor recibe, se convierte en energía mecánica, durante su operación se presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca es del 100 por ciento. Sí las condiciones de operación de un motor son incorrectas o éste tiene algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede ocasionar como consecuencia una gran disminución en su eficiencia.

La corriente en los conductores genera calor (Efecto Joule), el cual se disipa a través del aislamiento; para controlarlo, debe mantenerse la corriente, dentro de la temperatura de operación. Por lo tanto, I2R en el conductor debe ser constante.

Por otra parte si la corriente I se duplica, la resistencia R se reduce a un cuarto; implicando que la sección transversal del conductor deba ser cuatro veces más grande; por lo tanto, el área del cable es proporcional al cuadrado de la corriente; provocando incremento en la temperatura afectando el aislamiento de los equipos, lo cual reduce la eficiencia y existe un mayor consumo de energía. En otras palabras, entre mayor sea la corriente en el equipo y en los conductores, mayores serán las perdidas; por ello, se recomienda tener un factor de potencia corregido así como conductores con calibres adecuados al valor requerido de corriente, con objeto de tener menores pérdidas de energía.

Sí los motores de inducción operan en vacío o con baja carga, se reduce el factor de potencia, lo que provoca sobrecalentamiento en los equipos e instalaciones. Lo recomendable, es operar los equipos a su máxima capacidad, entre 3/4 y 4/4 de su potencia; de esta manera, se obtiene el máximo

rendimiento. La operación de equipos para servicio continuo, no puede ser intermitente, es decir no debe haber arranques o paros frecuentes.

7.4.4. Pérdidas en transformadores

Para los transformadores de distribución, las pérdidas en vacío y totales expresadas en watts, a la tensión, frecuencia y corriente eléctricas nominales no deben exceder los valores máximos indicados en la Tabla 7.1.

7.4.5. Eficiencia mínima de transformadores

Cálculo de la eficiencia

Para la determinación de la eficiencia se deben considerar las pérdidas nominales en vacío y debidas a la carga (corregidas a 75 °C u 85 °C, según corresponda su diseño) y un factor de potencia unitario[16].

$$\eta = \frac{Ps}{Pe}(100) \qquad \text{Ecuación 7.3}$$

$$P_e = P_s + pc + pv \qquad \text{Ecuación 7.4}$$

donde:

P_s = Potencia de salida en W (capacidad nominal)
P_e = Potencia eléctrica de entrada en W
pc = Pérdidas debidas a la carga en W
pv = Pérdidas en vacío en W

16 NOM-002-SEDE

La eficiencia expresada en porciento y a capacidad nominal debe ser como mínimo la indicada en la Tabla 7.2.

7.4.6. Reducción de la capacidad en motores

7.4.6.1. Variación de la tensión y frecuencia

Durante el funcionamiento de los motores eléctricos, se presentan diferentes condiciones en la operación y comportamiento, tal es el caso de disminución o incremento de la tensión especificada en su placa. La Norma NEMA, reconoce el efecto de la variación de la tensión y frecuencia, en el desempeño de los motores eléctricos. El estándar recomienda que esta variación, no debe exceder de 5 por ciento. Es importante diferenciar que la tensión nominal en motores y la tensión del sistema son diferentes. La tensión nominal del motor ha sido seleccionada para ser congruente con la tensión de utilización disponible en sus terminales. Esta tensión, permite caídas de tensión en el sistema de distribución y variaciones de tensión, cuando la carga en el sistema cambia. Las Normas NEMA, establecen las tensiones nominales de operación, para motores trifásicos a 60 Hz.

Los motores son más eficientes cuando se operan a su tensión nominal. En las instalaciones de los Organismos Operadores, una gran mayoría de motores operan dentro del valor de ± 10 por ciento la tensión. Sin embargo, bajo estas condiciones, los equipos presentan marcados efectos en su funcionamiento; como en el par de arranque, aceleración, deslizamiento, velocidad a plena carga, corriente de arranque y ruido, tanto

Tabla 7.1 Pérdidas en vacío y pérdidas totales máximas permitidas en watts

Capacida KVA		Nivel básico de aislamiento al impulso kV					
		Hasta 95 (Clase 15 kV)		Hasta 150 (Clase 18 y 25 kV)		Hasta 200 (Clase 34.5 kV)	
		Vácio	Totales	Vácio	Totales	Vácio	Totales
Monofásico	5	30	107	38	112	63	118
	10	47	178	57	188	83	199
	15	62	244	75	259	115	275
	25	86	368	100	394	145	419
	37.5	114	513	130	552	185	590
	50	138	633	160	684	210	736
	75	186	834	215	911	270	988
	100	235	1 061	265	1 163	320	1 266
	167	365	1 687	415	1 857	425	2 028
Trifásico	15	88	314	110	330	135	345
	30	137	534	165	565	210	597
	45	180	755	215	802	265	848
	75	255	1 142	305	1 220	365	1 297
	112.5	350	1 597	405	1 713	450	1 829
	150	450	1 976	500	2 130	525	2 284
	225	750	2 844	820	3 080	900	3 310
	300	910	3 644	1 000	3 951	1 100	4 260
	500	1 330	5 561	1 475	6 073	1 540	6 588

NOTAS:

1.- Estas pérdidas son máximas y no se admiten tolerancias
2.-En las pérdidas totales se incluyen las pérdidas debidas a la carga, corregidas a la temperatura de referencia
3.-Las pérdidas debidas a la carga correspondida son iguales a las pérdidas totales máximas menos las pérdidas en vacío medidas
4.-Las pérdidas provocadas por los accesorios de protección, son independientes de las pérdidas del transformador, por lo que no deben considerarse para el cálculo de la eficiencia del mismo

Fuente: NOM-002-SEDE

por abajo, como por arriba de la tensión nominal del motor.

Cuando se tiene un motor estándar operando a plena carga y cae la tensión, el factor de potencia se incrementa hasta 9 por ciento y la eficiencia en 1 por ciento. En cambio en los motores eficientes, la eficiencia disminuye 2 por ciento y se incrementa el factor de potencia aproximadamente en 1 por ciento. En ambos casos, la sobre elevación de temperatura se presenta y va desde 8 por ciento en motores estándar, hasta 22 por ciento en motores eficientes.

La eficiencia de un motor que opera a plena carga, no se altera en forma notable sí existen ligeras variaciones de tensión. En cambio, si la carga es menor, las variaciones de tensión reducen significativamente la eficiencia. Los motores de alta eficiencia, son más tolerantes a las variaciones de tensión, debido a su diseño y construcción.

Tabla 7.2 Eficiencias mínimas permitidas para los transformadores de distribución

Tipo de alimentación	Capacidad (kVA)	Nivel básico de aislamiento		
		Hasta 95 (clase 15 kV)	Hasta 150 (Clase 18 y 25 kV)	Hasta 200 (clase 34.5 kV)
Monofásico	10	98.61 %	98.49 %	98.28 %
	15	98.75 %	98.63 %	98.43 %
	25	98.90 %	98.79 %	98.63 %
	37.5	98.99 %	98.90 %	98.75 %
	50	99.08 %	98.99 %	98.86 %
	75	99.21 %	99.12 %	99.00 %
	100	99.26 %	99.16 %	99.06 %
	167	99.30 %	99.21 %	99.13 %
Trifásico	15	98.32 %	98.18 %	98.03 %
	30	98.62 %	98.50 %	98.35 %
	45	98.72 %	98.60 %	98.48 %
	75	98.86 %	98.75 %	98.64 %
	112.5	98.95 %	98.85 %	98.76 %
	150	99.03 %	98.94 %	98.86 %
	225	99.06 %	98.96 %	98.87 %
	300	99.11 %	99.02 %	98.92 %
	500	99.20 %	99.11 %	99.03 %

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/ENER

Para proteger un motor de problemas como alta y baja tensión, sobrecorrientes, sobrecargas, corriente de corto circuito, inversión de fase (no muy frecuente), falla de fase, etcétera, es necesario instalar relevadores de protección integral, que son elementos utilizados para abrir o cerrar un circuito de corriente alterna en condiciones normales e interrumpen el circuito por falla o emergencia.

7.4.6.2. Tensión desbalanceada

Una tensión desbalanceada puede ser más perjudicial que la variación de la tensión para el funcionamiento y la vida útil del motor. Cuando las tensiones de línea son aplicadas a un motor trifásico, y no son iguales en magnitud ni en ángulo de fase, se presentan corrientes desbalanceadas en el estator.

Este desbalance, introduce tensiones de secuencia negativa en el motor trifásico, produciendo un campo magnético que gira en dirección opuesta al rotor y en consecuencia altas corrientes en el motor ver Tabla 7.3.

El desbalance, no debe exceder en ningún caso del 5 por ciento; operar en rangos superiores no es recomendable, ya que se presentan incrementos de temperatura lo cual trae pérdidas de energía y baja eficiencia; por lo que es conveniente operar los equipos entre 1 y 2 por ciento, así como tratar de mantener las tensiones de las fases casi iguales; de esta

manera se verá incrementada la eficiencia y el ahorro de energía.

Causas de tensión desbalanceada son:

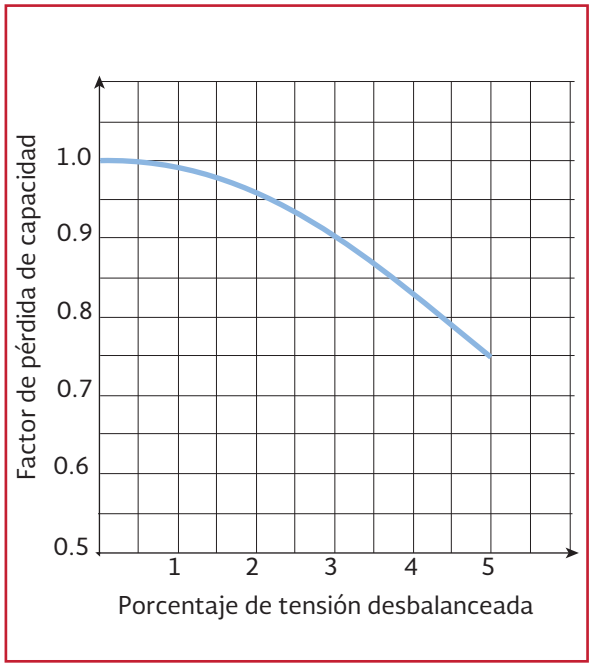
- Circuito abierto en el sistema primario de distribución eléctrica
- Combinación de cargas de una fase y tres fases en el mismo sistema de distribución, con las cargas de una sola fase desproporcionadamente distribuidas
- Un sistema Estrella (Y) - Delta (Δ) abierta
- Un sistema Delta (Δ) - Delta (Δ) abierta

El orden de magnitud del desbalance de corriente es influenciado no solo por el desbalance de tensión, también por el sistema de impedancia, la naturaleza de las cargas que ocasionan el desbalance y la carga de operación del motor, en la Ilustración 7.4, puede observarse como afecta una tensión desbalanceada a la capacidad del equipo.

Los efectos en otras características del motor pueden resumirse como sigue:

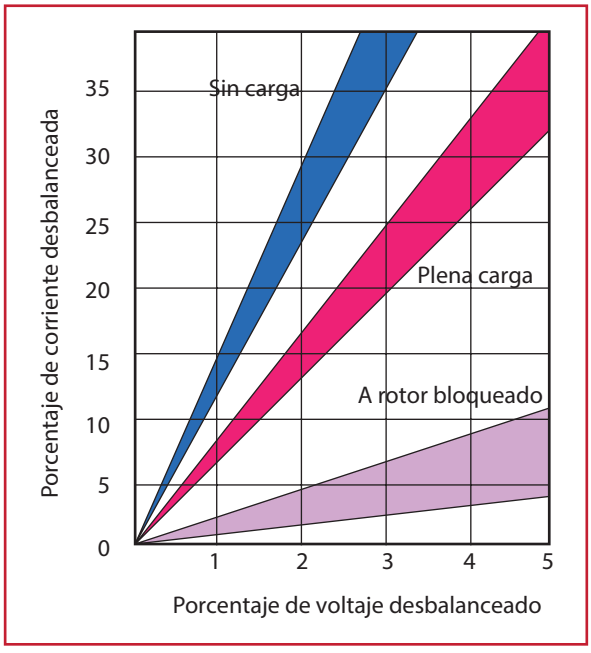
1. ***Par***. El par a rotor bloqueado y máximo, pueden decrecer si el desbalance de tensión es muy severo EL par puede no ser el adecuado para la operación
2. ***Velocidad a carga plena***. La velocidad a carga plena puede reducirse ligeramente (Ilustración 7.5)
3. ***Corriente a rotor bloqueado***. La corriente puede desbalancearse en el mismo grado que la tensión (Ilustración 7.6), pero los kVA se incrementarán ligeramente

Ilustración 7.4 Gráfico de pérdida de capacidad por una tensión desbalanceada



Fuente: NEMA (1987)

Ilustración 7.5 Comportamiento de la corriente cuando se tiene una tensión desbalanceado



Fuente: Andreas (1992)

Tabla 7.3 Efectos del desbalance de tensión en el rendimiento de un motor

Características	Comportamiento		
Tensión promedio	230	230	230
Porcentaje de desbalance de tensión	0.3	2.3	5.4
Porcentaje de desbalance de corriente	0.4	17.7	40
Incremento de temperatura	0	30	40

Considerando un motor con las siguientes caracteristicas: 5 hp, 1 725 r/min, 230 V, tres fases y 60 Hz

4. ***Ruido y vibración***. El desbalance de tensión puede causar un incremento del ruido y vibración, la cual es particularmente severa en motores de 3600 r/min

Ver Ilustración 7.7.

7.4.7. Sobredimensionamiento

Sobredimensionar los equipos es una práctica común; sin embargo, cuando se instala un equipo con una potencia que exceda a la carga que maneja, puede provocar problemas y desventajas:

- Baja eficiencia
- Bajo factor de potencia
- Alto precio de motores
- Alto costo de tableros
- Alto costo de arrancadores
- Alto costo de instalación

Entre mayor sea la diferencia entre la carga real del sistema y la capacidad nominal del motor, mayores serán los requerimientos de potencia reactiva, debido al abatimiento del factor de potencia.

Ilustración 7.6 Comportamiento del par, con respecto a la variación de velocidad

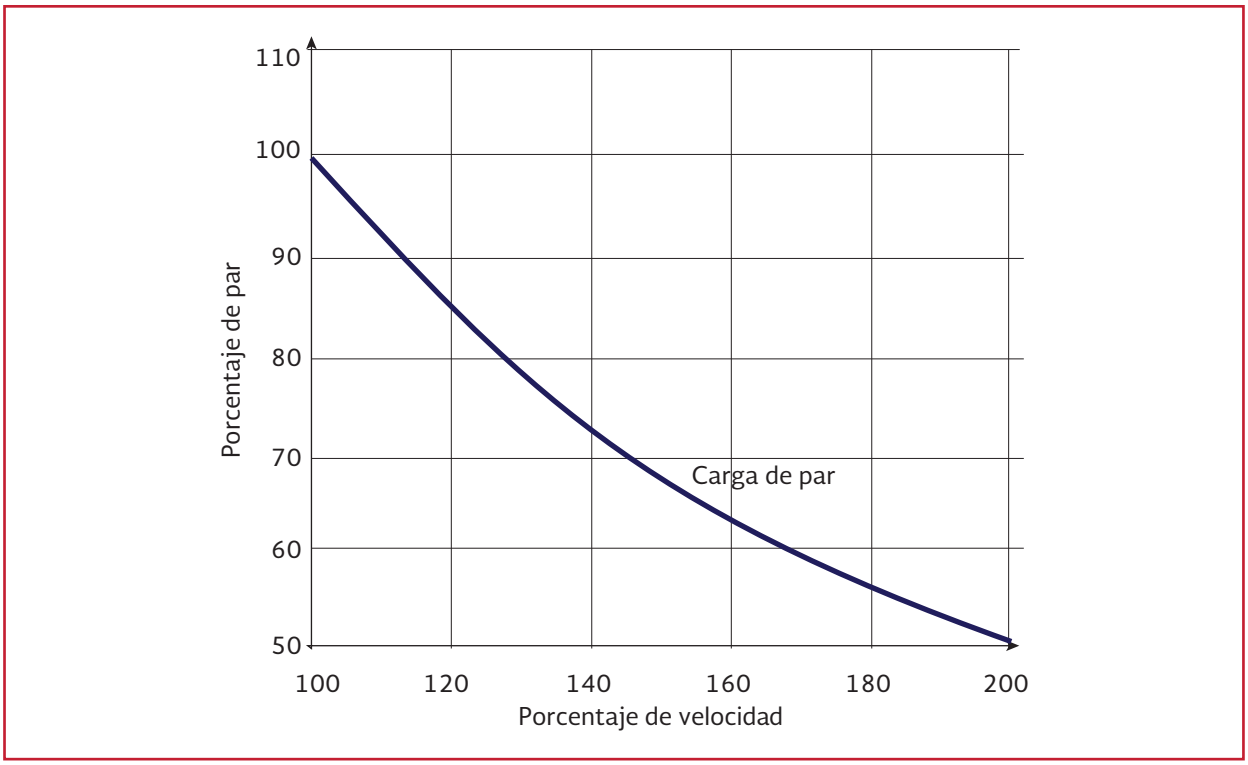
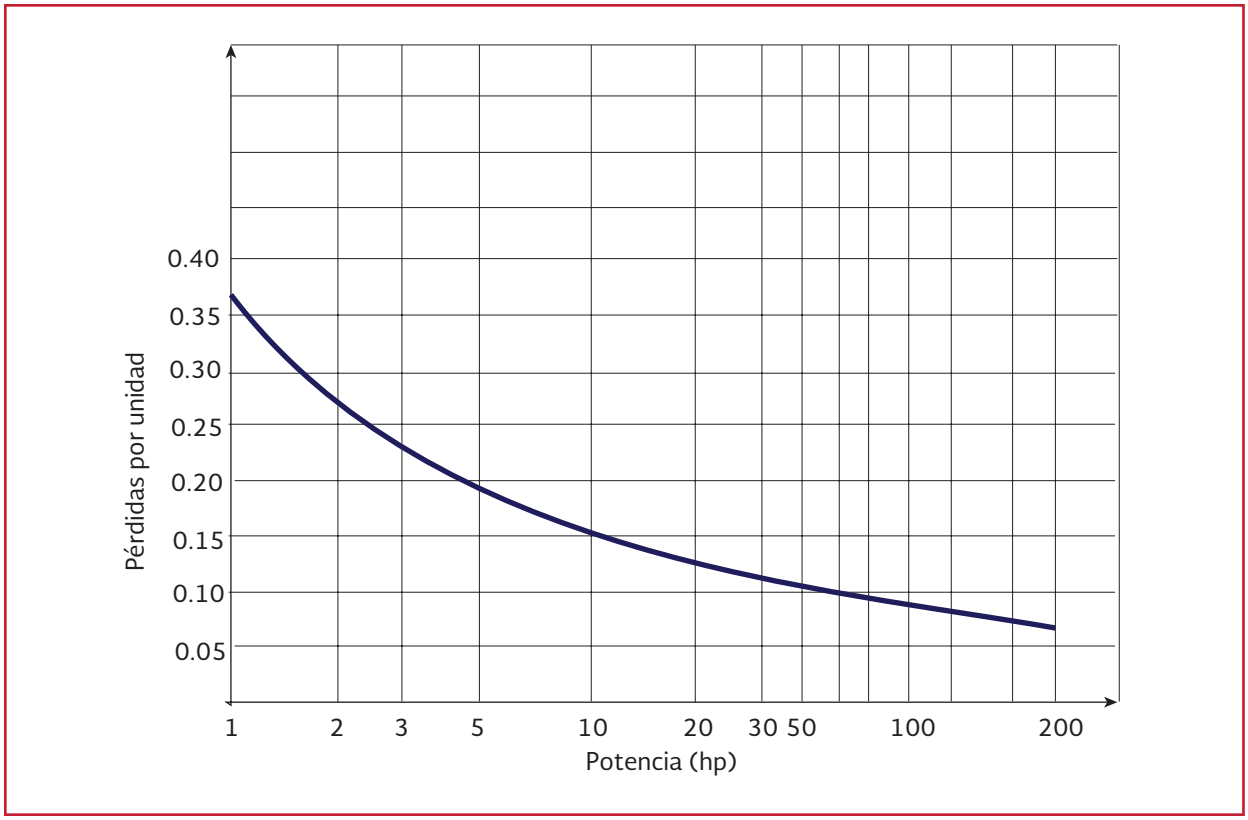


Ilustración 7.7 Pérdidas por unidad en función de la potencia



Los problemas que enfrentan las plantas de bombeo, son por baja eficiencia operativa, deficiente nivel de servicio, bajo índice de aprovechamiento de la infraestructura y por tener instalaciones inconclusas de acuerdo al proyecto original; esto trae como consecuencia que los sistemas electromecánicos no operen al 100 por ciento de su capacidad, es decir estén sobredimensionados.

7.4.7.1. Instalaciones de bombeo fuera de operación

En algunos sistemas, es común ver equipos o instalaciones fuera de operación, lo cual trae como consecuencia que el usuario no pueda cumplir con los valores de carga y demanda requeridos en su solicitud al Sector Eléctrico, por lo que los organismos operadores reciben un cargo mínimo mensual, dependiendo del tipo de tarifa contratada.

Es importante cuidar este aspecto, por lo que se recomienda realizar periódicamente un análisis de carga y si es necesario, proceder a la realización de un nuevo contrato a causa del cambio de características de carga, lo cual implica usar otra tarifa de suministro.

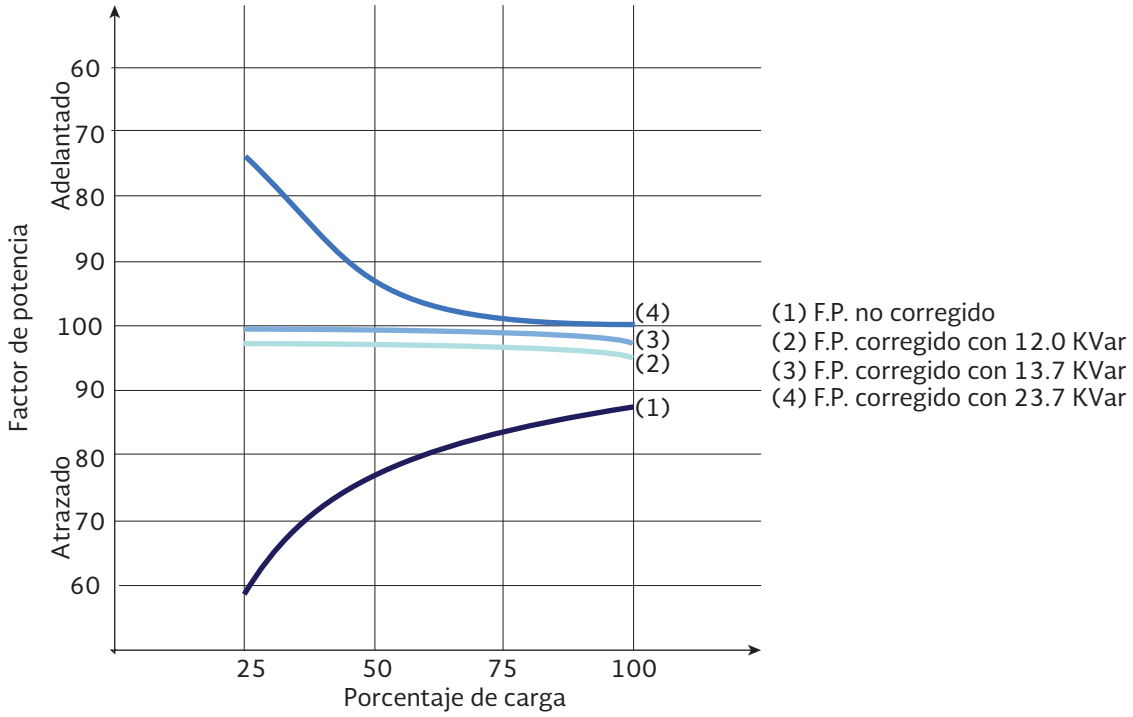
En el caso extremo de tener equipos fuera de operación por un período largo de tiempo, se recomienda cancelar el contrato, para evitar cargos por consumo mínimo de energía que establece la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

7.5. Factores que incrementan el ahorro de energía

En función de la identificación de problemas que causan un excesivo consumo de energía, se pueden considerar algunas acciones que permitirán disminuir el consumo energético.

- Controlar armónicas, tanto de tensión como de corriente, principalmente la tercera, quinta y séptima
- Rasurado de picos de demanda a través de controladores de demanda u otra tecnología existente en el mercado
- Eliminar puntos calientes en conductores, conexiones de tableros que pueden ser en terminales, barras, etcétera
- Verificar una adecuada ventilación de los equipos
- Realizar pruebas de pruebas a transformadores en vacío y totales, ver NOM-002-SEDE
- Revisar conexiones de transformador para identificar circuitos abiertos, falsas conexiones y otros problemas que pudieran generar un desbalance de tensión
- Corregir el factor de potencia adicionando capacitores y colocando estos en las terminales apropiadas (ver Ilustración 7.8)
- Evitar caídas de factor de potencia, derivado de una incorrecta operación de los equipos, los cuales deben operar por encima de 3/4 de su potencia nominal
- No sobredimensionar los equipos
- No intercambiar equipos de una instalación a otra
- Los problemas de una bomba, como fricción excesiva, desalineación, desbalance, sobrecalentamiento de rodamientos, etcétera, derivan en un aumento del consumo de energía, por lo tanto debe realizarse el mantenimiento de acuerdo con las recomendaciones presentadas en el libro de *Pruebas, puesta en servicio y mantenimiento* del MAPAS
- Los servicios de mantenimiento y reparación deberán ser realizados, exclusivamente por el fabricante, por talleres certificados o por personas idóneas
- Verificar la continuidad de los sistemas de tierra y que cumplan con los requerimientos normativos. Así como el sistema de protección contra descargas atmosféricas
- Verificar la tarifa contratada de acuerdo con el apartado 7.3
- Verificar o controlar la demanda, a través de la operación del sistema
- Sustituir arrancadores de estándar por arrancadores suaves o variadores de frecuencia
- Sustituir motores estándar por motores de alta eficiencia premium
- Sustituir tableros de tecnología programable
- Adicionar sensores de presencia o térmicos para el control de alumbrado
- Sustituir los dispositivos de alto consumo energético por nuevas tecnologías, de acuerdo con el apartado 7.6
- Medir eventos transitorios
- Detectar la presencia de fenómenos flicker
- Implementar una medición avanzada de control y monitoreo de energía
- Monitorear disturbios
- Interpretar el almacenamiento de valores de energía y demanda

Ilustración 7.8 Comportamiento del factor de potencia ante la adición de capacitores



- Inspeccionar y diagnosticar la red de monitoreo de energía
- Detectar presencia de sags y swells
- Gratificar la forma de onda de tensión y corriente
- Estudiar la tendencia y pronóstico de disturbios
- Cuantificar costos de energía que se pierde
- Comparar la precision de la energía tanto activa como reactiva con las normas
- Detectar presencia de disturbios y su dirección
- Instalar un sistema de alarmas para disturbios
- Realizar auditorías de energía
- Instalar un sistema de telemetría de control supervisorio
- Determinar la intensidad energética por equipo del sistema
- Reducir el valor de la intensidad energética existente
- No opera en horario punta
- Diagnosticar la presencia de cargas térmicas
- Realizar la logística para asegurar la continuidad de la operación
- Evaluar las perdidas en trasformadores
- Investigar si existe presencia térmica en trasformadores
- Revisar si existe desequilibrios entre fases de trasformadores

7.6. Dispositivos que reducen el consumo de energía

7.6.1. Controladores de demanda

Son dispositivos que permiten maniobrar el tiempo de operación de cargas eléctricas predeterminadas de una instalación, con el fin de mantener la demanda máxima bajo control, estableciendo ciclos de trabajo (Ilustración 7.9). La demanda máxima puede ser controlada manualmente o con la ayuda de equipos automáticos.

El conocimiento de los picos (kW) en la demanda de potencia eléctrica de un sistema, es de gran utilidad para definir las posibilidades de administración o control de la misma.

Al administrar la demanda máxima, manteniendo el mismo consumo de energía, se puede disminuir hasta alcanzar la demanda media o demanda ideal, esta se puede interpretar como una medida del aprovechamiento de la energía consumida con respecto a la demanda máxima solicitada.

Ilustración 7.9 Ejemplo de controlador de demanda



Para identificar cuáles cargas son trascendentales y cuáles no, se debe analizar la siguiente información de cada una de ellas:

- Cargas trascendentales
- Variación diaria y nivel de importancia
- Potencia de la carga

Componentes del controlador

- ***Controlador de la carga***: Monitorea los niveles de potencia a la entrada y activa cuando éstos se aproximen al nivel de demanda máxima
- ***Panel relevador***: Envía señales de control a las cargas conectadas
- ***Transductores***: Convierten la señal de entrada en Watts a una señal en milivolts, para entregarla a un panel lógico
- ***Transformadores de corriente***: Proveen una señal de entrada desde la compañía suministradora al controlador de demanda

En la actualidad, los controladores se desarrollan basados en controladores lógicos programables (PLC), software especial y equipo de adquisición de datos. Existen unidades sofisticadas que agregan varios parámetros que ofrecen un equipo más poderoso y versátil:

- Controles de reloj, usados para redistribuir la selección de varias cargas sobre una base de tiempo y también para controlar el momento y duración de apagado de las cargas
- Programador de ciclos de trabajo, para

determinar los tiempos y períodos del ciclo de apagado de una carga durante diferentes horas de operación
- Programador de la hora del día, que añade la posibilidad de apagar equipos independientemente de la demanda

Control de demanda manual

Consiste en realizar una buena programación de la operación de cargas, para ello es necesario realizar lo siguiente:

- ***Archivo histórico de demanda***: Para conocer el comportamiento de la planta en diversas condiciones
- ***Análisis de correspondencia***: Relacionar los procesos y equipos con la demanda global
- ***Desplazamiento de operación***: Mover las cargas factibles hacia horarios de menor demanda o menor costo
- ***Priorización de cargas***: Analizar la posibilidad de desconectar ciertos equipos de acuerdo a su importancia en cada proceso
- ***Atención requerida***: Establecer buena comunicación con los operadores de los equipos que son factibles desconectar, con objeto de prevenir picos de demanda innecesarios

Control de demanda automático

Es la solución más sofisticada, este tipo de controlador es un dispositivo electrónico que tiene la función de monitorear constantemente la potencia requerida, esto con el fin de que la potencia no se incremente más de lo fijado. Cuando la demanda de potencia se incrementa y tiende a rebasar el límite establecido, el controlador actúa automáticamente realizando la acción de desconexión de cargas que no son prioritarias o que no son necesarias en ese momento, con esto se da oportunidad a que otro tipo de cargas de mayor prioridad sigan en funcionamiento.

Para asegurar un límite en la demanda máxima; es necesario considerar lo siguiente:

- ***Carga base***: Para la administración de la demanda
- ***Sistematización del control***: Para establecer en qué equipos es posible realizar un control de la demanda. Es importante realizar un listado que describa cada una de las cargas así como su importancia
- ***Control por etapas***: Para establecer los procedimientos de operación de la planta que ayuden a la implementación del sistema de control de demanda
- ***Programación***: Para diseñar la lógica del control de demanda, asignando prioridades a las cargas a ser controladas
- ***Ajuste***: Para ajustar horarios de importancia y programaciones para minimizar el cargo por demanda o para mejorar la operación del sistema
- ***Automatización***: Una vez que sea verificada la gráfica de control de las cargas, es posible colocar un controlador automático de la demanda

7.6.2. Arrancadores

El arrancador permite arrancar suavemente un motor; una vez que se conecta el circuito de potencia del arrancador suave a la tensión nominal (Ilustración 7.10), se aplica tensión al circuito de control; al recibir éste tensión automáticamente la aumenta de forma gradual, a la salida del circuito de potencia del arrancador (dependiendo de

Ilustración 7.10 Arrancador de motor



la situación de los potenciómetros de ajuste), hasta llegar al 100 por ciento de la tensión nominal de alimentación, consiguiendo con ello arrancar de forma suave el motor. De igual forma, permite la parada de un motor de manera gradual, es decir, disminuyendo progresivamente la tensión de alimentación al motor, desde el valor nominal hasta un valor cero. Entre las ventajas con respecto a otros sistemas de arranque se tiene:

- Control en la intensidad de arranque, controlando la tensión aplicada y consiguiendo con ello reducir gastos innecesarios de energía y sobrecalentamiento en los motores
- Control del valor de tensión en el proceso de parada, permitiendo realizar una parada suave
- Ahorro energético
- Protección del motor ante sobrecalentamiento en sus devanados
- Mayor seguridad mecánica en la máquina que acciona el motor
- Se pueden visualizar y ajustar ciertos parámetros
- Se evita el desgaste mecánico que puedan sufrir las máquinas en el arranque y parada de manera tan brusca

Todo ello contribuye a una reducción en los costos de las reparaciones y una prolongación de la vida de los motores.

Los sistemas de arranque clásicos en los motores tienen el inconveniente de tomar valores de intensidad mayores a la nominal. Otro inconveniente que tienen estos arranques son los periodos de paro instantáneos que se producen en los cambios de conexión.

7.6.3. Motores eficientes

Un motor eficiente es aquel que tiene la capacidad para convertir energía eléctrica en energía mecánica, con un nivel bajo de pérdidas. Un motor de estas características tiene una excelente eficiencia.

$$\eta_m = \left(\frac{P_{sc}}{P_e}\right)(100)$$

Ecuación 7.5

donde:

P_{sc} = Potencia mecánica de salida corregida para cada valor de carga, referida a una temperatura ambiente de 25 ° C

P_e = Potencia eléctrica de entrada para cada valor de carga

La aparición en el mercado de estos motores se debió al constante aumento de los costos de energía eléctrica. En comparación con un motor estándar, un motor eficiente consume aproximadamente 25 por ciento menos de energía eléctrica.

Los motores eficientes de alto rendimiento fueron diseñados para reducir al mínimo las pérdidas constantes por carga, generan bajas pérdidas de energía, reducen la temperatura, son más silenciosos, son resistentes a las

variaciones de tensión y presentan una mayor vida útil en comparación con un motor estándar (ver Ilustración 7.11 e Ilustración 7.12).

La reducción de pérdidas de potencia en motores de alta eficiencia está entre el 25 y 43 por ciento. Las mejoras en la eficiencia, se logran incrementando la cantidad de material activo usado en los motores y también mediante el uso de acero magnético de alta calidad. Los motores eficientes se diseñaron para ahorrar energía logrando una mejor eficiencia en un rango de entre media y plena carga.

Según las normas oficiales la eficiencia requerida en motores de alta eficiencia es la mostrada en la Tabla 7.4.

En la Ilustración 7.13, se observa la comparación de eficiencias nominales de motores estándar, motores eficientes de primera generación y motores de alta eficiencia, en donde se denota las diferencias entre uno y otro.

Análisis de la inversión

El método de ahorro y el de recuperación de la inversión, puede ser determinado por medio de un simple análisis de reembolso.

Los factores básicos que se requieren, analizar por ejemplo son:

- Comparación de eficiencias de motores estándar y ahorradores de energía
- Horas anuales de operación

El ciclo de operación de un motor, puede ser determinado por criterios como: tiempo de operación del motor y tiempo de operación del equipo de control, entre otros.

Los ahorros anuales y el período de recuperación de la inversión pueden variar, dependiendo del costo de la energía y las horas de operación.

Por lo general, el tiempo de retorno de la inversión en motores eficientes varía de 6 meses a 3 años, lo que justifica económicamente su utilización. Para lograr el máximo ahorro, es primordial especificar motores eficientes en la etapa inicial de todo proyecto.

En la Tabla 7.5 y la Ilustración 7.14 se muestra un ejemplo del ahorro anual de energía comparando un motor de alta eficiencia con respecto a un motor de eficiencia estandar.

Ilustración 7.11 Motor de alta eficiencia

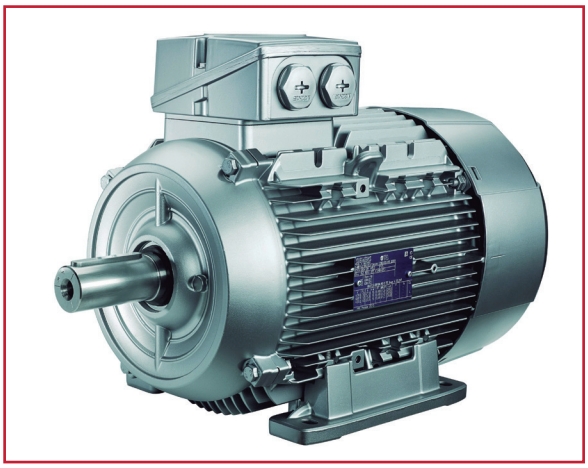


Ilustración 7.12 Motor de eficiencia premium

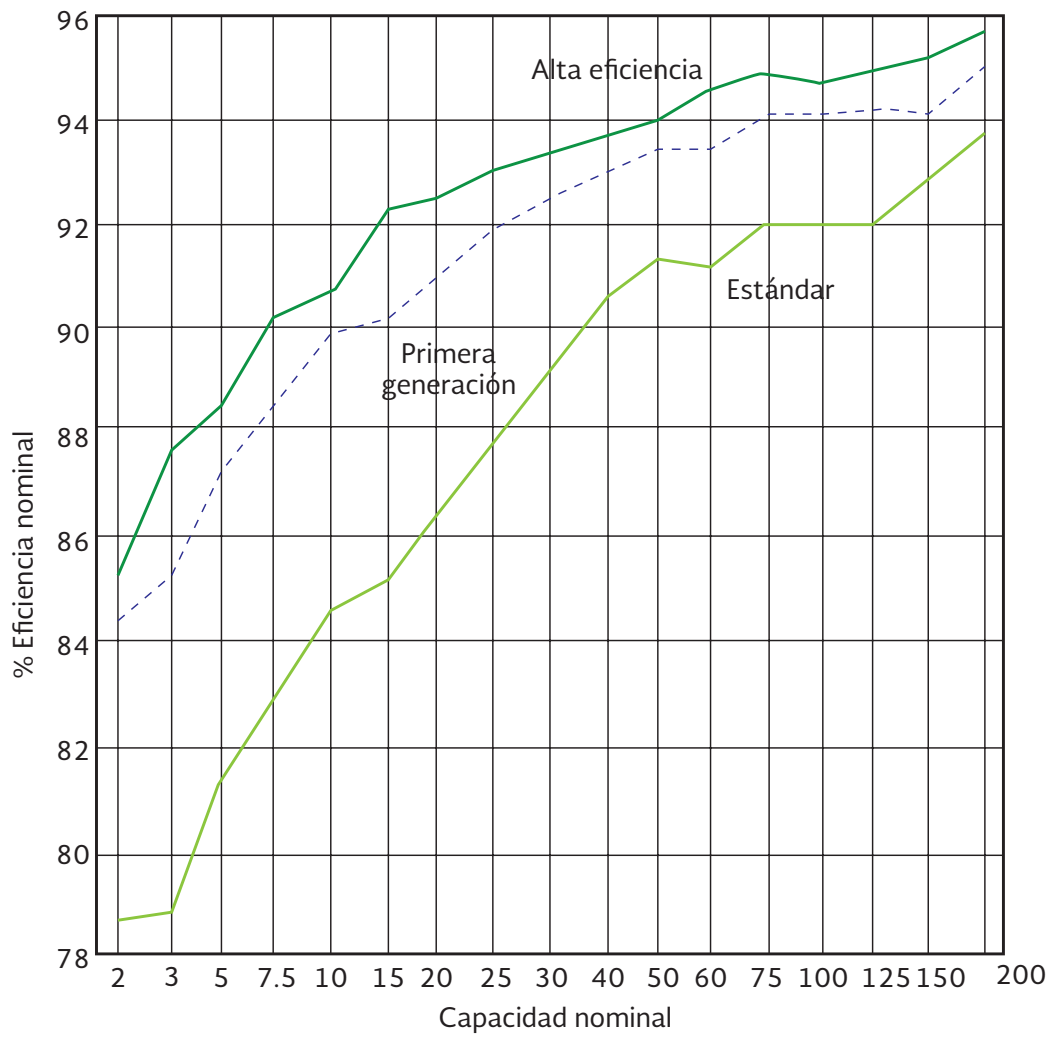


Tabla 7.4 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento

Potencia nominal		Motores cerrados				Motores cerrados			
kW	cp	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
0.746	1	77.0	85.5	82.5	74.0	77.0	85.5	82.5	74.0
1.119	1.5	84.0	86.5	87.5	77.0	84.0	86.5	86.5	75.5
1.492	2	85.5	86.5	88.5	82.5	85.5	86.5	87.5	85.5
2.238	3	86.5	89.5	89.5	84.0	85.5	89.5	88.5	86.5
3.730	5	88.5	89.5	89.5	85.5	86.5	89.5	89.5	87.5
5.595	7.5	89.5	91.7	91.0	85.5	88.5	91.0	90.2	88.5
7.460	10	90.2	91.7	91.0	88.5	89.5	91.7	91.7	89.5
11.19	15	91.0	92.4	91.7	88.5	90.2	93.0	91.7	89.5
14.92	20	91.0	93.0	91.7	89.5	91.0	93.0	92.4	90.2
18.65	25	91.7	93.6	93.0	89.5	91.7	93.6	93.0	90.2
22.38	30	91.7	93.6	93.0	91.0	91.7	94.1	93.6	91.0
29.84	40	92.4	94.1	94.1	91.0	92.4	94.1	94.1	91.0
37.30	50	93.0	94.5	94.1	91.7	93.0	94.5	94.1	91.7
44.76	60	93.6	95.0	94.5	91.7	93.6	95.0	94.5	92.4
55.95	75	93.6	95.4	94.5	93.0	93.6	95.0	94.5	93.6
74.60	100	94.1	95.4	95.0	93.0	93.6	95.4	95.0	93.6
93.25	125	95.0	95.4	95.0	93.6	94.1	95.4	95.0	93.6
111.9	150	95.0	95.8	95.8	93.6	94.1	95.8	95.4	93.6
149.2	200	95.4	96.2	95.8	94.1	95.0	95.8	95.4	93.6
186.5	250	95.8	96.2	95.8	94.5	95.0	95.8	95.4	94.5
223.8	300	95.8	96.2	95.8	---	95.4	95.8	95.4	---
261.1	350	95.8	96.2	95.8	---	95.4	95.8	95.4	---
298.4	400	95.8	96.2	---	---	95.8	95.8	---	---
335.7	450	95.8	96.2	---	---	95.8	96.2	---	---
373	500	95.8	96.2	---	---	95.8	96.2	---	---

Fuente: NOM-016-ENER

Ilustración 7.13 Comparación de eficiencia nominal a plena carga de motores de inducción TCCV de 1800 r/min



7.6.4. Bancos de capacitores

Para mejorar el factor de potencia, una opción es la colocación de bancos de capacitores que proporcionen la potencia reactiva (KVAR) necesaria para que el factor esté corregido (Ilustración 7.15). Los capacitores, son conectados a través de la línea de potencia en paralelo con la carga que tenga un factor de potencia bajo. El número de kilovars de los capacitores requeridos depende del factor de potencia sin corrección y del valor de compensación deseado del factor de potencia.

Un método efectivo de instalación, es conectar los capacitores en las terminales del motor y conmutar estos, con la carga del mismo. Los beneficios de este tipo de instalación son los siguientes: no son necesarios elementos de protección o interruptores extras, las pérdidas de la línea se reducen, desde el punto de conexión de regreso hasta la fuente de poder.

Tabla 7.5 Ahorro anual de energía con motores de alta eficiencia

Potencia	Eficiencia Estándar	Alta eficiencia	Ahorro Anual	Ahorro Anual	Tiempo de Retorno de Inversión
1	73	85.5	896	968	11
2	77	86.5	1 277	1 379	10
3	80	86.5	1 261	1 362	11
5	82	89.5	2 287	2 470	7
7.5	84	91	3 074	3 320	32
10	85	91.7	3 847	4 155	27
15	86	93	5 876	6 346	21
20	87.5	93	6 051	6 535	22
25	88	93.6	7 608	8 216	22
30	88.5	94.1	9 030	9 752	19
40	89.5	94.1	9 779	10 561	25
50	90	94.5	11 841	12 789	22
60	90.5	95	14 057	15 181	22
75	91	95	15 533	16 775	21
100	91.5	95.4	19 998	21 598	23

Basado en operación de 6000 hr/año con tarifa $1.08 OM CENTRAL (Junio 2015)

Ilustración 7.14 Comparación de eficiencia nominal de los motores considerados en la Tabla 7.5

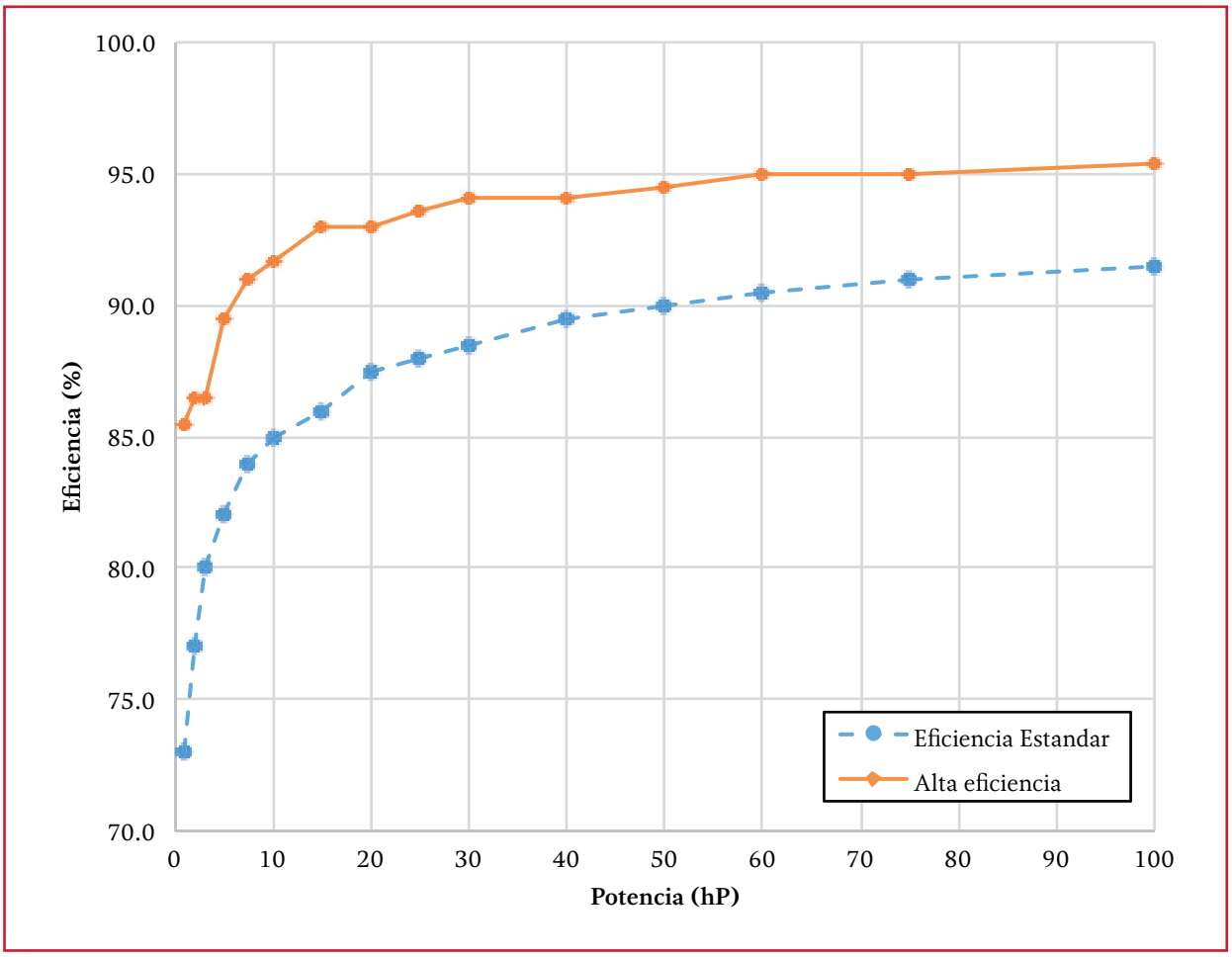


Ilustración 7.15 Banco de capacitores



Nunca conecte los capacitores directamente al motor, bajo ninguna de las siguientes condiciones:

- El motor es parte de un sistema de variación de frecuencia
- Si son usados arrancadores de estado sólido
- Si es usado un arranque de transición abierta
- Si el motor está sujeto a cambios repetitivos, picos, avance en intervalos u operaciones continuas
- Si un motor de varias velocidades es usado
- Si usa un motor de reserva
- Si existe la posibilidad de que la carga pueda manejar al motor y no el motor a la carga

Todos estos casos, de tensiones de excitación propia o picos transitorios de corrientes, pueden causar daños al motor y al capacitor. En este tipo de instalaciones los capacitores deben ser conmutados con un contacto conectado con un arrancador del motor.

Cuando en una instalación eléctrica se tiene un bajo factor de potencia en presencia de cargas no lineales, resulta siempre muy arriesgado tratar de corregirlo, sin antes hacer un análisis del sistema eléctrico. No es recomendable excederse al instalar capacitores, se puede lograr un factor de potencia con un buen nivel de corrección pero puede producirse un efecto de armónicas, ya que la independencia del capacitor decrece al incrementarse la frecuencia, así los capacitores actúan como un sumidero a donde las armónicas convergen. Los capacitores secos no disipan muy bien el calor y, por consiguiente, son más susceptibles al daño por armónicas, provocando como resultado calentamiento de los mismos, debido a incrementos en las pérdidas dieléctricas, corto circuito, falla de fusibles e incluso la explosión de los capacitores.

La industria del sistema de alimentación puede entrar en resonancia con capacitores acoplados en paralelo con la inductancia de dicho sistema (transformador y motor), ocasionando la amplificación de corrientes y tensiones armónicas, y con ello la incorrecta operación del sistema.

7.6.5. Motores síncronos

Los motores síncronos pueden también actuar como generadores de KVAR. Su capacidad para generar KVAR es función de su excitación y de la carga conectada; cuando operan en baja excitación no genera los suficientes KVAR para suplir sus propias necesidades y en consecuencia los toman de la red eléctrica.

Pero, cuando operan sobreexcitados (operación normal) suplen sus requerimientos de KVAR y pueden además entregar KVAR a la red eléctrica; en este caso son utilizados como compensadores de bajo factor de potencia.

7.6.6. Variadores de frecuencia

Un convertidor o variador de frecuencia es un dispositivo destinado a modificar la frecuencia y por tanto la velocidad de un motor; es decir, que genera una corriente alterna con la frecuencia y la tensión necesarias para accionar dicho motor de corriente alterna, sin ningún accesorio extra entre el motor y la carga. Estos variadores de frecuencia aportan grandes beneficios como son: mejoramiento en el control del proceso, flexibilidad en condiciones de carga variable, regulación de la tensión o la corriente, ahorro de energía y disminución del mantenimiento.

El principio de operación de los variadores de frecuencia se basa en elementos estáticos de activación (disparo) o apertura como diodos, transistores y tiristores, los cuales son cargas no lineales. El suministro de energía a través de estos es prácticamente senoidal, pero algunos elementos estáticos causan distorsión en la línea, debido a que las corrientes generadas tienen forma rectangular. Este efecto se llama distorsión por armónicas y en exceso afectan a otras cargas conectadas a la línea, como son los transformadores.

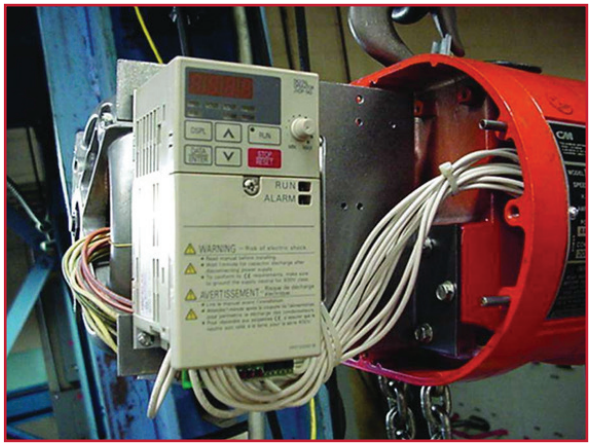
Una de las limitaciones del motor es el tener velocidades fijas, sin posibilidades de variación, contrariamente a lo que ocurre con un motor de corriente continua. Siendo que los procesos y aplicaciones requieren diferentes velocidades y pares.

La ventaja principal de los variadores de frecuencia es que disminuyen los consumos de energía eléctrica en los procesos que controlan, ya que sólo se consume lo que necesitan en cada momento; dando como resultado considerables disminuciones en los costos de operación. Entre otras ventajas:

- Pueden ser controlados a distancia y con cualquier sistema automático
- Se pueden conectar varios motores en paralelo
- No precisan mantenimiento alguno
- No precisan contactor para su maniobra y si se quiere invertir el sentido de giro tampoco precisan un inversor exterior
- Se puede conseguir una velocidad constante cualquiera que sea la carga
- Se puede programar el tiempo de arranque y de parada (freno)

La alta confiabilidad de los variadores de frecuencia ha permitido que cada día se instalen más de estos equipos (Ilustración 7.16). Ejemplo de los factores que se deben incluir en una evaluación técnica y económica de los variadores de frecuencia son: potencia requerida en el motor, corriente nominal del motor, la magnitud de la reducción en la capacidad, duración de la reducción, entre otros.

Ilustración 7.16 Variador de frecuencia



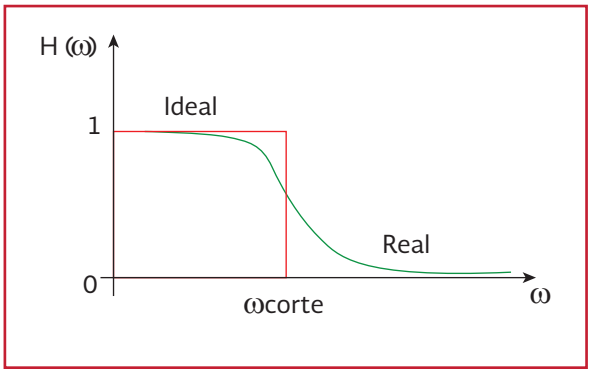
7.6.7. Filtros

Los filtros son dispositivos que tienen la habilidad de eliminar las armónicas de la red eléctrica, en forma controlada; las armónicas son causadas por cargas eléctricas no lineales, tales como variadores de velocidad, rectificadores, computadoras, etcétera.

Entre estos se encuentran:

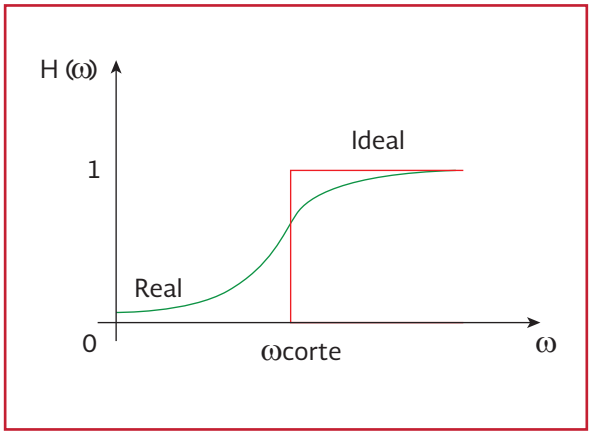
Filtro paso bajo. Son aquellos que atenúan señales de alta frecuencia ver Ilustración 7.17.

Ilustración 7.17 Comportamiento de un filtro paso bajas



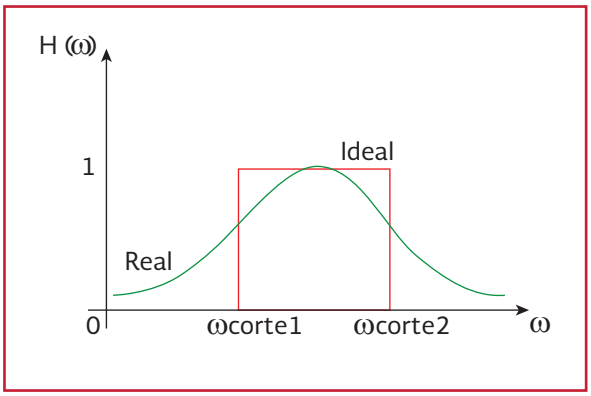
Filtro paso alto. Son aquellos que atenúan señales de baja frecuencia ver Ilustración 7.18.

Ilustración 7.18 Comportamiento de un filtro paso alto



Filtro paso banda. Son aquellos que nos permiten el paso de un rango determinado de frecuencia y atenuar el paso del resto ver Ilustración 7.19.

Ilustración 7.19 Comportamiento de un filtro paso banda



donde:

H(ω)	=	La ganancia de la señal de salida
ωcorte	=	La frecuencia de corte
ωcorte1	=	La frecuencia de corte 1
ωcorte2	=	La frecuencia de corte 2
ω	=	La frecuencia

La ganancia que se menciona es unitaria debido a que estas gráficas representan el comportamiento de filtros pasivos.

Para definir el tipo de filtro a instalar, es necesario efectuar un minucioso estudio de armónicas, con mediciones de tensión y corriente; analizando mediante simulador y selección, el dispositivo más adecuado. Como el circuito de filtrado absorbe parte o la totalidad de las armónicas generadas por los convertidores, deberá ser diseñado adecuadamente.

El filtro monitorea la corriente de línea, en tiempo real y procesa las armónicas medidas, como señales digitales en un procesador de señal digital (DSP) de alta potencia. La salida del (DSP) controla los módulos de potencia de ancho de pulso modulado (PWM), que a través de reactores de línea, inyectan corrientes armónicas con la fase opuesta a aquellas que se van a filtrar. El efecto es reducción de armónicas, y una señal senoidal limpia.

Los equipos de filtrado, empleados en las instalaciones industriales y redes antes mencionadas, permiten obtener las siguientes mejoras:

- Compensación de la potencia reactiva a la frecuencia fundamental para un factor de potencia especifico
- Disminuyen el porcentaje de distorsión armónica total. La distorsión armónica total nunca debe estar por encima del 1 por ciento. De estarlo, en lugar de enriquecer la señal, la distorsión empieza a degradarla
- Evitan fenómenos de resonancia, que surgirían al conectar capacitores sin protección contra armónicas
- Limitan la corriente de energización de los capacitores
- Atenúan los disturbios en la tensión ocasionados por la conexión de capacitores
- Disminución de pérdidas activas, en cables y aparatos electromagnéticos por reducción de la distorsión armónica total
- Prácticos y económicos para la corrección de armónicas y del factor de potencia

Elección del dispositivo más adecuado

El primer aspecto a tener en cuenta, será cual es el objetivo que se pretende, mediante la incorporación de un dispositivo de corrección de factor de potencia y/o filtrado de armónicas, teniendo en cuenta las características de tipo de carga a compensar, habiendo efectuado las tareas de medición de parámetros eléctricos y armónicas, tanto de tensión como de corriente. En todos los casos se tendrá en cuenta: el orden de armónica y el valor máximo de corrientes y tensiones armónicas a filtrar.

7.6.8. Sistemas inteligentes de alumbrado

Estos sistemas, están diseñados para programarse de acuerdo a las necesidades del usuario. Se llaman inteligentes ya que de acuerdo a la programación que se les dé, ejecutan programas y siguiendo una rutina de alumbrado a diferentes tiempos y/o áreas (Ilustración 7.20).

El sistema puede modificar rápidamente la operación horaria y tiempos muertos del sistema, elimina la necesidad de programar individualmente los controladores. Controla el alumbrado por medio de gráficas, se puede observar el plano de diseño de piso, yendo al área deseada incluyendo el control de alumbrado.

Monitorea los costos de energía, con los registros de los eventos, pueden ser generados reportes, ayudando a localizar los costos de energía y el desempeño en diferentes áreas. Identifica los problemas del sistema con las alarmas reportadas. Además el sistema puede monitorear y reportar las condiciones de disparo de los interruptores, requerimientos forzados no autorizados y otras alarmas.

Sensores

Son dispositivos de control automático de iluminación, con activación de sonido y movimiento (ver Ilustración 7.21). Estos dispositivos detectan el calor infrarrojo producido por el movimiento de personas y sonidos, hasta una distancia de seis metros, ahorra energía eléctrica cuando nadie la utiliza. Este dispositivo contiene un temporizador, el cual desconecta el alumbrado automáticamente después de un tiempo determinado si no se detecta sonido o movimiento que superen el umbral de sensibilidad. Además, tiene una opción de control manual.

Existen sensores de corriente lineales ajustables, de balance nulo, digitales y lineales. Los sensores de corriente digitales pueden hacer sonar una alarma, arrancar un motor, abrir una válvula o desconectar una bomba. La señal lineal duplica la forma de la onda de la corriente captada, y puede ser utilizada como un elemento de respuesta para controlar un motor o regular la cantidad de trabajo que realiza una máquina.

Entre los sensores más conocidos se encuentran principalmente tres:

- Sensor ocupacional
- Sensor fotoeléctrico
- Sensor de tiempo

Es muy importante optar por este tipo de tecnologías, sobre todo en oficinas y negocios ya que el ahorro de energía es considerable como lo muestran en la Ilustración 7.22 y la Ilustración 7.23.

donde:

A	=	Los usuarios prenden todas las lámparas
B - C	=	Los ocupantes abandonan sus locales dejando las lámparas prendidas
D	=	Por descuido, algunas lámparas quedan encendidas
E	=	Lámparas encendidas hasta el siguiente día

Ilustración 7.20 Sistema de alumbrado inteligente



Ilustración 7.21 Esquema de instalación de un sensor

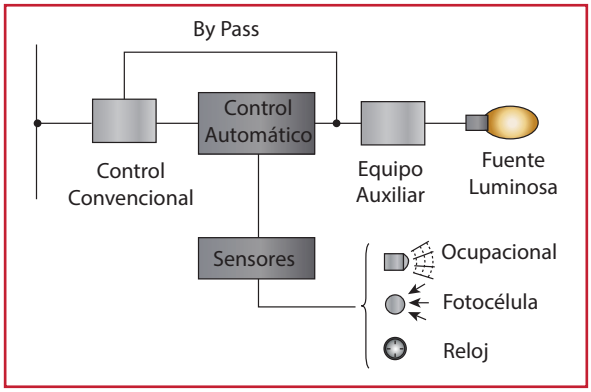


Ilustración 7.22 Consumo de energía sin sensor

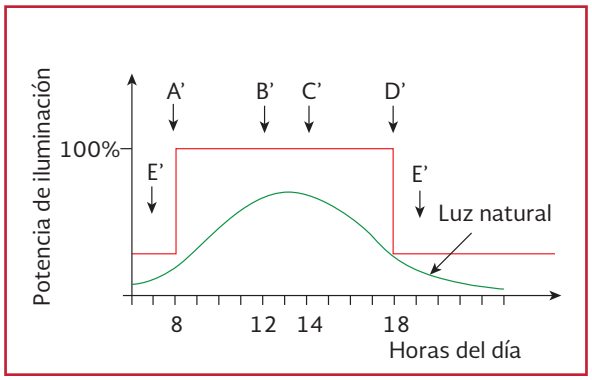
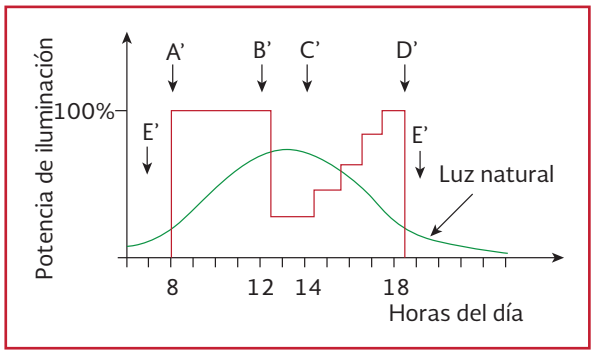


Ilustración 7.23 Consumo de energía con un sensor programable



A' = Los usuarios prenden todas las lámparas

B' = El sistema apagado algunas lámparas

C' = El usuario al regresar prende algunas lámparas

D' = Todas las lámparas se apagan

E' = Ninguna lámpara queda encendida

7.6.9. Lámparas ahorradoras de energía

Las lámparas fluorescentes ahorradoras de energía, operan de tal forma que consumen menos energía eléctrica y emiten mayor intensidad luminosa que una lámpara convencional (Ilustración 7.24). Lo anterior incluye la utilización de balastros electrónicos, difusores y reflectores de alta eficiencia. Incluso con esto, se pueden lograr ahorros de aproximadamente 60 por ciento por cada lámpara reconvertida o sustituida.

Al llevar a cabo esta recomendación, estaríamos ahorrando aproximadamente un 35 por ciento del consumo de energía eléctrica correspondiente al alumbrado. Además, el tiempo de vida útil de estas, es de más del doble. Así mismo, el flujo luminoso es mayor, por lo que se requiere una menor cantidad de ellas. Para mayor información consultar el libro de *Selección de equipo y materiales electromecánicos* del MAPAS

Balastros Electrónicos

Son dispositivos que permiten adaptar la corriente de la línea de alimentación a la corriente necesaria de la lámpara, para mantener su potencia nominal, sin variar la tensión de línea. Pueden ser discretos o integrados y trabajan con alta frecuencia, bajas pérdidas, buena regulación y mínimo nivel de ruido. Los hay de potencia de lámpara constante y de potencia variable.

La conveniencia de estos dispositivos es la capacidad de manejar la energía eléctrica eficientemente, ya que no consumen tanta energía como los balastros electromagnéticos. Tienen bajas pérdidas y sus características principales son el reducido tamaño, peso y su rendimiento energético.

7.6.10. Sistemas de alumbrado por diodo Emisor de Luz

Los diodo Emisor de Luz (LED's) son dispositivos semiconductores unidos a dos terminales, cátodo y ánodo (negativo y positivo respectivamente) recubiertos por una resina epoxi trans-

Ilustración 7.24 Lámparas ahorradoras



Ilustración 7.25 Lámpara de LED's



parente (Ilustración 7.25). Cuando una corriente eléctrica circula por el LED se produce un efecto de emisión de luz. Con la introducción de nuevos materiales, se han podido crear lámparas de estado sólido a base de LED's, o sea sin filamento de tungsteno, ni gas inerte que lo rodee, ni cápsula de vidrio que lo recubra.

Cuando se tiene la necesidad de economizar energía eléctrica se tiende a reducir el consumo disminuyendo la potencia de lámparas incandescentes y lámparas de tubo fluorescente; con el uso de alumbrado por LED's se logra este objetivo.

El SSL (LED de luz blanca), es la primera nueva tecnología de iluminación que ha emergido en 40 años y con sus rendimientos energéticos y ahorros de costos, tiene el potencial de sustituir muchos accesorios existentes de iluminación; entre otras ventajas se tiene:

- Alta durabilidad. Ningún filamento de tungsteno o tubo que se pueda romper, resistentes a impactos
- Alta vida. Los LED's poseen una alta duración
- Flexibilidad en el tamaño. Por su tamaño se pueden utilizar varios LED's en un mismo dispositivo, dependiendo de la iluminación requerida
- Baja generación de calor. Se genera una menor cantidad de calor a comparación de los focos tradicionales
- Eficiencia. Poseen un mayor rendimiento energético que un foco
- Bajo consumo de energía eléctrica
- No existen balastros a reemplazar
- Altos niveles de flujo e intensidad luminosa
- Se pueden controlar y programar fácilmente

7.7. Diagnóstico de equipos electromecánicos

Es importante identificar aspectos que pueden causar un consumo energético excesivo durante el funcionamiento de los equipos electromecánicos, ya que esta condición representa un área de oportunidad para el ahorro energético.

Los principales aspectos a diagnosticar son:

- Eficiencia actual de los equipos de bombeo
- Condiciones de operación del sistema
- Características de las instalaciones y pérdidas energéticas en el sistema electromecánico

7.7.1. Evaluación de eficiencias de la bomba y electromecánica

La eficiencia de la bomba (η_b) se calcula a través de la Ecuación 7.6.

$$\eta_b = \frac{Potencia\ hidráulica\ de\ salida\ (P_h)}{Potencia\ \ mecánica\ absorbida\ (P_m)}\ (100)$$

Ecuación 7.6

Por practicidad se recomienda evaluar la eficiencia electromecánica del conjunto motor-bomba de acuerdo al esquema de la Ilustración 7.26. Lo cual se realiza de la siguiente manera:

1. Se calcula la potencia hidráulica de salida con la Ecuación 7.7

$$P_h = \frac{H_b Q \rho g}{1\,000}$$ Ecuación 7.7

donde:

P_h	=	Potencia hidráulica de salida (kW)
H_b	=	Carga hidráulica de bombeo (m)
Q	=	Caudal que pasa por la tubería, a la descarga de la bomba (m^3/s)
ρ	=	Densidad del agua (kg/m^3)
g	=	Aceleración de la gravedad en (m/s^2)

El caudal (Q) se obtiene de las mediciones en campo, los valores ρ y g se toman generalmente como 1 000 y 9.81, respectivamente

2. Con el valor de la potencia hidráulica (P_h) calculada y la potencia eléctrica medida (P_e), se calcula la eficiencia electromecánica a través de la Ecuación 7.8

$$\eta_{em} = \frac{P_h}{P_e}$$ Ecuación 7.8

donde:

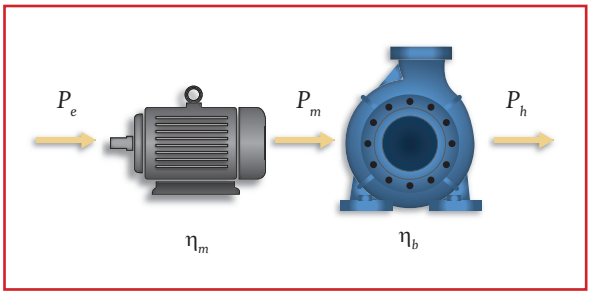
η_{em}	=	Eficiencia electromecánica
P_h	=	Potencia hidráulica de salida (kW)
P_e	=	Potencia eléctrica medida (kW)

3. La η_{em} calculada se sustituye en la ecuación de eficiencias (motor, bomba) y se determina la eficiencia de la bomba η_b con la siguiente ecuación:

$$\eta_b = \frac{\eta_{em}}{\eta_m}$$ Ecuación 7.9

La eficiencia del motor se determina de acuerdo a lo indicado en el apartado 6.10. Una vez calculados estos valores es posible determinar la eficiencia de la bomba.

Ilustración 7.26 Diagrama esquemático de las eficiencias que integran la eficiencia electromecánica



7.7.2. Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo

En la NOM-010-ENER se establecen los valores mínimos de eficiencia energética que debe cumplir el conjunto motor-bomba sumergible de tipo pozo profundo y se establece el método de prueba para verificar en laboratorio dicha eficiencia. Aplica únicamente a los conjuntos motor-bomba sumergible tipo pozo profundo,

accionados con motor trifásico sumergible, de manufactura nacional o extranjera.

Los valores mínimos de eficiencia para el conjunto motor-bomba sumergible se especifican en la Tabla 7.6 y la Tabla 7.7.

7.7.3. Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical

La NOM-001-ENER tiene como finalidad establecer la mínima eficiencia energética de las bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical a efecto de ahorrar energía para contribuir a la preservación de los recursos energéticos y ecología. Además de proteger al consumidor de productos de menor calidad y consumo excesivo de energía. Aplicable a bombas verticales que se usan para el manejo de agua limpia.

Toda bomba de este tipo, debe cumplir con los valores de eficiencia indicados en la Tabla 7.8.

7.7.4. Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación

En la NOM-006-ENER se establecen los valores de eficiencia energética que deben cumplir los sistemas de bombeo para pozo profundo en operación instalados en campo, y se específica el método de prueba para verificar el cumplimiento de estos valores. Aplicable a bombas verticales tipo turbina con motor eléctrico: externo o sumergible, usadas en el bombeo de agua de pozo profundo, y para el intervalo de potencias de 5.5-261 kW (7.5-350 hp), ver Tabla 7.9.

7.7.5. Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 kW a 0.746 kW

La NOM-004-ENER define la forma en que se determina y se expresa la eficiencia energética, y los valores máximos de consumo de energía, con lo cual, se facilitan las decisiones del usuario y se evita la comercialización de bombas y conjunto motor-bomba ineficientes, para bombeo de agua para uso doméstico en potencias de 0.187 kW a 0.746 kW, con el fin de procurar el uso racional de los recursos energéticos no renovables. Aplicable a bombas y conjunto motor-bomba, que utilizan motores monofásicos de inducción tipo jaula de ardilla, para manejo de agua de uso doméstico en potencias de 0.187 kW hasta 0.746 kW, ver Tabla 7.10.

7.7.6. Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0.180 kW a 1.500 kW

La NOM-014-ENER tiene la función de definir la forma en que se determina y se expresa la eficiencia nominal y mínima asociada y cuáles son los valores mínimos, con el objeto de procurar el uso racional de los recursos energéticos no renovables. Es aplicable a motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con

aire, en potencia nominal de 0.180 kW hasta 1.500 kW, de una sola frecuencia de rotación, de 2, 4 o 6 polos, de fase dividida o de capacitor de arranque, abiertos o cerrados. Se excluyen los motores eléctricos que requieren de equipo auxiliar o adicional para su enfriamiento, ver Tabla 7.11.

7.7.7. Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 a 373 kW

En la NOM-016-ENER se establecen los valores de eficiencia nominal y mínima asociada, el método de prueba para su evaluación, los criterios de aceptación y las especificaciones de información mínima a marcar en la placa de datos de los motores eléctricos de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 kW hasta 373 kW, con tensión eléctrica nominal de hasta 600 V, abiertos o cerrados, de una sola frecuencia de rotación, de posición de montaje horizontal o vertical y régimen continuo, ver Tabla 7.12.

7.7.8. Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución

En la NOM-002-SEDE/ENER Se establecen los requisitos mínimos de seguridad y eficiencia energética que deben cumplir los transformadores de distribución, además de los métodos de prueba que deben utilizarse para evaluar estos Aplica a los transformadores de distribución de fabricación nacional e importados, tipo: poste, subestación, pedestal y sumergible y autoenfriados en líquido aislante.

Los transformadores de distribución, deben cumplir con los valores de eficiencia especificados en la Tabla 7.13.

7.7.9. Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales

En la NOM-007-ENER se establecen los niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos, así como establecer el método de cálculo para la determinación del DPEA, definiendo al DPE como el índice de la carga conectada para alumbrado por superficie de construcción, que se expresa en W/m^2. Es aplicable a los sistemas de alumbrado interior y exterior de los edificios no residenciales nuevos con carga total conectada para alumbrado mayor o igual a 3 kW; así como a las ampliaciones y modificaciones de los sistemas de alumbrado interior y exterior con carga conectada de alumbrado mayor o igual a 3 kW de los edificios existentes. Los valores de DPEA que deben cumplir los sistemas de alumbrado interior de los edificios indicados en el campo de aplicación no deben exceder los valores indicados en la Tabla 7.14.

7.7.10. Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional

La NOM-020-ENER se enfoca en limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento; es decir mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía. Se entiende por envolvente al techo, paredes, vanos, puertas, piso y superficies inferiores, que conforman el espacio interior de un edificio para uso habitacional. Aplicable a a todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los edificios para uso habitacional existentes. En la Tabla 7.15 se presentan las partes que conforman la envolvente de un edificio para uso habitacional.

7.7.11. Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades

La NOM-013-ENER tiene por objeto establecer niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), así como la iluminancia promedio para alumbrado en vialidades, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin menoscabo de los requerimientos visuales. Considerando al DPEA como el índice de la carga conectada para alumbrado por superficie iluminada (W/m^2). Aplicable a todos los sistemas nuevos de iluminación para vialidades y estacionamientos públicos abiertos, cerrados o techados, así como las ampliaciones o modificaciones de instalaciones ya existentes independientemente de su tamaño y carga conectada. Como complemento puede consultar la NOM-025-STPS (punto número siete " Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo") donde se presentan los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo. En la Tabla 7.16 se presentan los valores de DPEA cuando en el diseño del sistema de alumbrado considera el uso de superpostes (poste para alumbrado público que tiene una altura mínima de 15 m y un conjunto de más de tres luminarios). La Tabla 7.17 describe las características del coeficiente de luminancia media del pavimento para el cálculo de luminancia de una vialidad. Así también se presenta de la Tabla 7.18 a Tabla 7.20 los valores máximos de DPEA para cada clasificación de pavimento.

7.7.12. Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastradas

En la NOM-017-ENER/SCFI se establecen los límites mínimos de eficacia luminosa, los requisitos de seguridad, los métodos de prueba aplicables, así como la información comercial de las lámparas fluorescentes compactas autobalastradas (LFCA). Aplicable a todas las lámparas fluorescentes compactas autobalastradas sin envolvente, con envolvente y con reflector integrado, con cualquier tipo de base, en tensiones eléctricas de alimentación de 100 V a 277 V c. a. y 50 Hz o 60 Hz. De la Tabla 7.21 a Tabla 7.23 se presenta la eficacia luminosa mínima que deben de cumplir las LFCA.

Tabla 7.6 Valores de referencia para el cálculo de la eficiencia mínima de la bomba sumergible

Capacidad de la bomba sumergible (L/s)	Eficiencia (%)
Mayor que 0.3 hasta 0.5	40
Mayor que 0.5 hasta 2.0	49
Mayor que 2.0 hasta 5.0	62
Mayor que 5.0 hasta 10.0	69
Mayor que 10.0 hasta 15.0	71
Mayor que 15.0 hasta 25.0	73
Mayor que 25.0 hasta 30.0	74
Mayor que 30.0 hasta 60.0	77
Mayor que 60.0	78

Fuente: NOM-010-ENER

Tabla 7.7 Valores de referencia para el cálculo de la eficiencia mínima del motor sumergible

Motor (KW)	Motor (hp)	Eficiencia (%)
Hasta 1.492	Hasta 2.0	68
Mayor que 1.492 hasta 3.73	Mayor que 2.0 hasta 5.0	73
Mayor que 3.73 hasta 5.595	Mayor que 5.0 hasta 7.5	75
Mayor que 5.595 hasta 7.46	Mayor que 7.5 hasta 10.0	77
Mayor que 7.46 hasta 11.19	Mayor que 10.0 hasta 15.0	79
Mayor que 11.19 hasta 14.92	Mayor que 15.0 hasta 20.0	80
Mayor que 14.92 hasta 22.38	Mayor que 20.0 hasta 30.0	81
Mayor que 22.38 hasta 29.84	Mayor que 30.0 hasta 40.0	83
Mayor que 29.84 hasta 44.76	Mayor que 40.0 hasta 60.0	86
Mayores que 44.76	Mayores que 60.0	87

Fuente: NOM-010-ENER

Tabla 7.8 Valores mínimos de eficiencia en el punto óptimo, en función del gasto y número de pasos

Tamaño	Intervalo de gasto (L/s)	Eficiencia mínima %	No. de pasos
4	1.0 a 3.0	64.0	8
5	3.66 a 11.55	71.0	5
6	2.9 a 24.97	70.0	7
7	4.7 a 34.65	70.0	6
8	10.0 a 68.0	73.0	7
9	17.0 a 69.3	77.0	5
10	20.4 a 66.6	77.0	7
11	39.7 a 75.0	80.0	5
12	32.0 a 150.0	80.0	5
13	85.8 a 141.6	80.0	5
14	61.1 a 250.0	80.0	5
15	101.0 a 209.0	81.0	7
16	139.4 a 256.8	81.0	5
18	222.6 a 353.9	81.0	5
20	321.8 a 818.9	81.0	5
24	533.6 a 902.2	81.0	5

Fuente: NOM-010-ENER

Tabla 7.9 Valores mínimos de eficiencia para sistemas de bombeo para pozo profundo en operación

Intervalo de potencias		Eficiencia electromecánica (%)
kW	hp	
5.6 – 14.9	7.5-20	52
15.7 – 37.3	21-50	56
38.0 – 93.3	51-125	60
94.0 - 261	126-350	64

Fuente: NOM-006-ENER

Tabla 7.10 Valores mínimos de caudal, carga, eficiencia de la bomba que deben cumplir los equipos para manejo de agua de uso doméstico

Potencia (kW)	Valores mínimos		
	Caudal a válvula de descarga abierta, en el punto óptimo de operación de la bomba, (L/min)	Carga a válvula de descarga cerrada (kPa)	Eficiencia en el punto óptimo de operación de la bomba %
0.187	105	176.36	45
0.373	120	215.56	45
0.560	135	244.95	50
0.746	145	293.94	55

Fuente: NOM-004-ENER

Tabla 7.11 Eficiencia nominal para motores eléctricos monofásicos de inducción tipo jaula de ardilla

Potencia		Tensión eléctrica nominal								
kW		115 V			127 V			200-240 V		
Mayor o igual a	Menor que	Número de polos								
		2	4	6	2	4	6	2	4	6
		Eficiencia nominal en %								
0.180	0.249	55.0	52.5	50.5	52.5	50.5	48.0	52.5	50.5	48.0
0.249	0.373	57.5	55.0	52.5	55.0	52.5	50.5	55.0	52.5	50.5
0.373	0.560	62.0	59.5	57.5	59.5	57.5	55.0	59.5	57.5	55.0
0.560	0.746	64.0	62.0	62.0	62.0	59.5	57.5	62.0	59.5	57.5
0.746	1.119	66.0	64.0	64.0	64.0	62.0	59.5	64.0	62.0	59.5
1.119	1.492	70.0	68.0	68.0	68.0	66.0	66.0	68.0	66.0	66.0
1.492	1.501	74.0	72.0	72.0	72.0	70.0	70.0	72.0	70.0	70.0

Fuente: NOM-014-ENER

Tabla 7.12 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento

Potencia Nominal kW	Potencia Nominal Cp	Motores cerrados				Motores abiertos			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
0.746	1	77.0	85.5	82.5	74.0	77.0	85.5	82.5	74.0
1.119	1,5	84.0	86.5	87.5	77.0	84.0	86.5	86.5	75.5
1.492	2	85.5	86.5	88.5	82.5	85.5	86.5	87.5	85.5
2.238	3	86.5	89.5	89.5	84.0	85.5	89.5	88.5	86.5
3.730	5	88.5	89.5	89.5	85.5	86.5	89.5	89.5	87.5
5.595	7,5	89.5	91.7	91.0	85.5	88.5	91.0	90.2	88.5
7.460	10	90.2	91.7	91.0	88.5	89.5	91.7	91.7	89.5
11.19	15	91.0	92.4	91.7	88.5	90.2	93.0	91.7	89.5
14.92	20	91.0	93.0	91.7	89.5	91.0	93.0	92.4	90.2
18.65	25	91.7	93.6	93.0	89.5	91.7	93.6	93.0	90.2
22.38	30	91.7	93.6	93.0	91.0	91.7	94.1	93.6	91.0
29.84	40	92.4	94.1	94.1	91.0	92.4	94.1	94.1	91.0
37.30	50	93.0	94.5	94.1	91.7	93.0	94.5	94.1	91.7
44.76	60	93.6	95.0	94.5	91.7	93.6	95.0	94.5	92.4
55.95	75	93.6	95.4	94.5	93.0	93.6	95.0	94.5	93.6
74.60	100	94.1	95.4	95.0	93.0	93.6	95.4	95.0	93.6
93.25	125	95.0	95.4	95.0	93.6	94.1	95.4	95.0	93.6
111.9	150	95.0	95.8	95.8	93.6	94.1	95.8	95.4	93.6
149.2	200	95.4	96.2	95.8	94.1	95.0	95.8	95.4	93.6
186.5	250	95.8	96.2	95.8	94.5	95.0	95.8	95.4	94.5
223.8	300	95.8	96.2	95.8	---	95.4	95.8	95.4	---
261.1	350	95.8	96.2	95.8	---	95.4	95.8	95.4	---
298.4	400	95.8	96.2	---	---	95.8	95.8	---	---
335.7	450	95.8	96.2	---	---	95.8	96.2	---	---
373	500	95.8	96.2	---	---	95.8	96.2	---	---

Fuente: NOM-016-ENER

Tabla 7.13 Eficiencias mínimas permitidas referidas a un factor de carga del 80 % para los transformadores de distribución (Eficiencia en %)

Tipo de alimentación	Capacidad (kVA)	Nivel básico de aislamiento		
		Hasta 95 (clase 15 kV)	Hasta 150 (Clase 18 y 25 kV)	Hasta 200 (clase 34.5 kV)
Monofásico	10	98.61 %	98.49 %	98.28 %
	15	98.75 %	98.63 %	98.43 %
	25	98.90 %	98.79 %	98.63 %
	37.5	98.99 %	98.90 %	98.75 %
	50	99.08 %	98.99 %	98.86 %
	75	99.21 %	99.12 %	99.00 %
	100	99.26 %	99.16 %	99.06 %
	167	99.30 %	99.21 %	99.13 %

Tipo de alimentación	Capacidad (kVA)	Nivel básico de aislamiento		
		Hasta 95 (clase 15 kV)	Hasta 150 (Clase 18 y 25 kV)	Hasta 200 (clase 34.5 kV)
Trifásico	15	98.32 %	98.18 %	98.03 %
	30	98.62 %	98.50 %	98.35 %
	45	98.72 %	98.60 %	98.48 %
	75	98.86 %	98.75 %	98.64 %
	112.5	98.95 %	98.85 %	98.76 %
	150	99.03 %	98.94 %	98.86 %
	225	99.06 %	98.96 %	98.87 %
	300	99.11 %	99.02 %	98.92 %
	500	99.20 %	99.11 %	99.03 %

Fuente: NOM-002-SEDE/ENER

Tabla 7.14 Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA)

Tipo de edificio	DPEA (W/m²)
Oficinas	
Oficinas	14
Escuelas y demás centros docentes	
Escuelas o instituciones educativas	16
Bibliotecas	16
Establecimientos comerciales	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	20
Hospitales	
Hospitales, sanatorios y clínicas	17
Hoteles	
Hoteles	18
Moteles	22
Restaurantes	
Bares	16
Cafeterías y venta de comida rápida	19
Restaurantes	20
Bodegas	
Bodegas o áreas de almacenamiento	13
Recreación y Cultura	
Salas de cine	17
Teatros	16
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	16
Museos	17
Templos	24
Talleres de servicios	
Talleres de servicio para automóviles	16
Talleres	27
Carga y pasaje	
Centrales y terminales de transporte de carga	13
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	16

Fuente: NOM-007-ENER

Tabla 7.15 Partes que conforman la envolvente de un edificio para uso habitacional (clasificación y denominación)

Nombre de la componente y ángulo de la normal a la superficie		Partes
Techo	Desde 0° y hasta 45°	Opaco No opaco (domo y tragaluz)
Pared	Mayor a 45° y hasta 135°	Opaca (muro) No opaca (vidrio, acrílico)
Superficie inferior	Mayor a 135° y hasta 180°	Opaca No opaca (vidrio, acrílico)
Piso	Generalmente 180°: también se deben considerar los pisos inclinados	Opaco No opaco (vidrio, acrílico)

Fuente: NOM-020-ENER

Tabla 7.16 Valores máximos de DPEA para sistemas de iluminación en vialidades con superpostes

Área a iluminar (m²)	Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (W/m²)
< 2 500	0.52
de 2 500 a < 5 000	0.49
de 5 000 a 12 500	0.46
> 12 500	0.44

Fuente: NOM-013-ENER

Tabla 7.17 Características de reflectancia del pavimento

Clase	Coeficiente de luminancia media	Descripción	Tipo de reflectancia
R1	0.10	Superficie de concreto, cemento portland, superficie de asfalto difuso con un mínimo de 15% de agregados brillantes artificiales	Casi difuso
R2	0.07	Superficie de asfalto con un agregado compuesto de un mínimo de 60% de grava de tamaño mayor que 10 mm. Superficie de asfalto con 10 a 15% de abrillantador artificial en la mezcla agregada	Difuso especular
R3	0.07	Superficie de asfalto regular y con recubrimiento sellado, con agregados obscuros tal como roca o roca volcánica, textura rugosa después de algunos meses de uso (Típico de autopistas)	Ligeramente especular
R4	0.08	Superficie de asfalto con textura muy tersa	Muy especular

Fuente: NOM-013-ENER

Tabla 7.18 Valores máximos de DPEA, iluminancia mínima promedio y valor máximo de la relación de uniformidad promedio para vialidades con pavimento tipo R1

Clasificación de Vialidad	Iluminancia mínima promedio (lx)	Relación de uniformidad promedio máxima E_{prom}/E_{min}	DPEA (W/m²)			
			Ancho de calle (m)			
			< 9.0	≥ 9.0 y < 10.5	≥ 10.5 y < 12.0	≥ 12.0
Autopistas y carreteras	4	3 a 1	0.32	0.28	0.26	0.23
Vías de acceso controlado y vías rápidas	10	3 a 1	0.71	0.66	0.61	0.56
Vías principales y ejes viales	12	3 a 1	0.86	0.81	0.74	0.69
Vías primarias y colectoras	8	4 a 1	0.56	0.52	0.48	0.44
Vías secundarias residencial Tipo A	6	6 a 1	0.41	0.38	0.35	0.31
Vías secundarias residencial Tipo B	5	6 a 1	0.35	0.33	0.30	0.28
Vías secundarias industrial Tipo C	3	6 a 1	0.26	0.23	0.19	0.17

Fuente: NOM-013-ENER

Tabla 7.19 Valores máximos de DPEA, iluminancia mínima promedio y valor máximo de la relación de uniformidad promedio para vialidades con pavimento tipo R2 y R3

Clasificación de Vialidad	Iluminancia mínima promedio (lx)	Relación de uniformidad promedio máxima E_{prom}/E_{min}	DPEA (W/m^2)			
			Ancho de calle (m)			
			< 9.0	≥ 9.0 y < 10.5	≥ 10.5 y < 12.0	≥ 12.0
Autopistas y carreteras	6	3 a 1	0.41	0.38	0.35	0.31
Vías de acceso controlado y vías rápidas	14	3 a 1	1.01	0.95	0.86	0.81
Vías principales y ejes viales	17	3 a 1	1.17	1.12	1.03	0.97
Vías primarias y colectoras	12	4 a 1	0.86	0.81	0.74	0.69
Vías secundarias residencial Tipo A	9	6 a 1	0.64	0.59	0.54	0.50
Vías secundarias residencial Tipo B	7	6 a 1	0.49	0.45	0.42	0.37
Vías secundarias industrial Tipo C	4	6 a 1	0.32	0.28	0.26	0.23

Fuente: NOM-013-ENER

Tabla 7.20 Valores máximos de DPEA, iluminancia mínima promedio y valor máximo de la relación de uniformidad promedio para vialidades con pavimento tipo R4

Clasificación de Vialidad	Iluminancia mínima promedio (lx)	Relación de uniformidad promedio máxima E_{prom}/E_{min}	DPEA (W/m^2)			
			Ancho de calle (m)			
			< 9.0	> 9.0 y < 10.5	> 10.5 y < 12.0	> 12.0
Autopistas y carreteras	5	3 a 1	0.35	0.33	0.30	0.28
Vías de acceso controlado y vías rápidas	13	3 a 1	0.94	0.87	0.80	0.75
Vías principales y ejes viales	15	3 a 1	1.06	1.00	0.93	0.87
Vías primarias y colectoras	10	4 a 1	0.71	0.66	0.61	0.56
Vías secundarias residencial Tipo A	8	6 a 1	0.56	0.52	0.48	0.44
Vías secundarias residencial Tipo B	6	6 a 1	0.41	0.38	0.35	0.31
Vías secundarias industrial Tipo C	4	6 a 1	0.32	0.28	0.26	0.23

Fuente: NOM-013-ENER

Tabla 7.21 Límites de eficacia luminosa para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas LFCA sin envolvente

Intervalos de potencia eléctrica	Eficacia luminosa 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

Fuente: NOM-017-ENER/SCFI

Tabla 7.22 Límites de eficacia luminosa para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas LFCA con envolvente

Intervalos de potencia eléctrica	Eficacia luminosa mínima (lm/W)
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

Fuente: NOM-017-ENER/SCFI

Tabla 7.23 Límites de eficacia luminosa para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas LFCA con reflector

Intervalos de potencia eléctrica	Eficacia luminosa mínima (lm/W)
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

8

Fuentes de energía renovable

La utilización de fuentes de energía renovables, como la fotovoltaica (solar) y la eólica, es una opción que debe fomentarse, ya que de este modo se puede reducir parcialmente la presión sobre los recursos naturales y la contaminación generada por la utilización de hidrocarburos, particularmente por la quema de combustibles fósiles; así como también incrementar el valor agregado de las actividades económicas. Por lo que se debe promover acciones para:

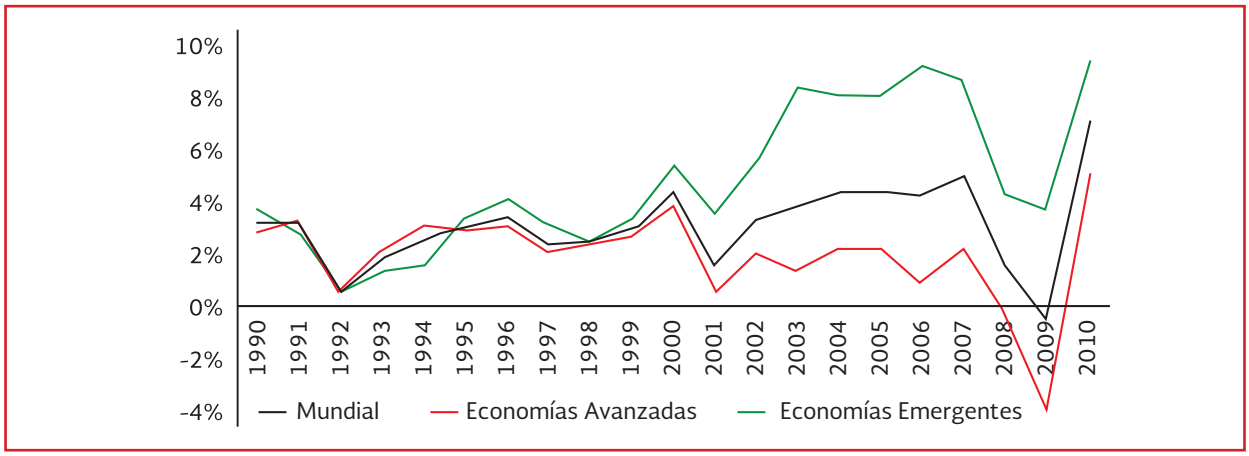
- Difundir e impulsar instrumentos que permitan financiar proyectos aplicando fuentes de energía renovable
- Crear normatividad que facilite la implantación de las energías renovables en el sector hídrico
- Recomendar el uso de energías renovables en instalaciones del sector público
- Aplicar incentivos tanto al fabricante como al usuario final de sistemas que aprovechan energías renovables
- Fortalecer la promoción de la eficiencia energética y las fuentes de energía renovables en organismos operadores de agua

Se recomienda revisar la información del libro *Aplicación de fuentes de energía alternativa en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales*, del MAPAS.

Para abastecer el constante incremento en la demanda de energía eléctrica, se han buscado energías alternativas, como las fuentes renovables, con costos cada vez menores, con un menor impacto ambiental negativo y disponible para todos los consumidores, sin importar la zona geográfica.

Dado que el desempeño de la economía está estrechamente relacionado con el consumo de energía eléctrica en los siguientes años, el ritmo de recuperación de cada país y región será determinante en la evolución del sector eléctrico (ver Ilustración 8.1 y Tabla 8.1).

Ilustración 8.1 Consumo mundial de energía eléctrica, 1990-2010 (variación porcentual)



Fuente: Electricity Information 2013, International Energy Agency.

Tabla 8.1 Variación anual del consumo de electricidad

Concepto	Variación anual del consumo de electricidad			
	2007	2008	2009	2010
Total mundial	5.0	1.7	-0.6	7.2
Economías avanzadas	2.3	-0.3	-4.1	5.2
Francia	-0.2	1.6	-3.4	6.3
Japón	2.7	-4.6	-2.9	6.8
Estados Unidos	2.8	-0.3	-4.5	4.4
Canadá	1.3	-0.6	-6.9	8.8
Reino Unido	-1.0	0.0	-5.9	2.2
Alemania	0.3	-0.3	-5.7	6.7
Italia	0.2	0.0	-6.2	3.2
Economías emergentes	8.8	4.3	3.7	9.4
India	10.7	5.8	7.6	8.0
China	15.4	6.1	7.7	12.4
México	3.4	2.0	-0.6	3.4
Brasil	5.2	3.8	-0.6	7.5
Sudáfrica	4.8	-3.3	-3.6	4.0
Rusia	2.9	3.5	-5.4	5.9

Fuente: Electricity Information 2013. International Energy Agency

8.1. Energía eólica

El proceso consiste en atrapar la energía cinética asociada al viento y transformarla en otra fuente de energía como la mecánica o la eléctrica (Ilustración 8.2). Aprovechándola en aplicaciones como el transporte con velas, la molienda de granos y el bombeo de agua, así como la transformación de esta energía en electricidad a gran escala.

En México se han identificado diferentes zonas con potencial para la explotación eólica para la generación eléctrica, como en el Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, La Rumorosa en el estado de Baja California, así como en los estados de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Sinaloa, y en la Península de Yucatán, entre otros. La Asociación Mexicana de Energía Eólica estima que estas zonas podrían aportar hasta 10 000 MW de capacidad al parque eléctrico nacional.

El mercado eólico mundial ha demostrado que esta tecnología y la industria asociada a ella pueden convertirse en una importante fuente de empleos, inversión, desarrollo tecnológico, integración industrial y creadora de nuevas empresas e infraestructura para el país, con beneficios ambientales. La capacidad instalada de energía eólica en operación alcanzó los 1 289 MW en 2012, de los cuales sólo el 7 por ciento es operado por la CFE, mientras que el resto es operado a través de permisionarios bajo esquemas de autoabastecimiento, pequeños productores y productores independientes.

En el sector hídrico, para este tipo de energía, todavía se están desarrollando estudios y proyectos para su aplicación

Ilustración 8.2 Aerogenerador



8.2. Energía solar

Considerando la capacidad energética del sol, la cual perdurará durante millones de años, así como la privilegiada ubicación de México en el globo terráqueo, la cual permite que el territorio nacional destaque en el mapa mundial de territorios con mayor promedio de radiación solar anual, con índices que van de los 4.4 kWh/m^2 por día en la zona centro, a los 6.3 kWh/m^2 por día en el norte del país, resulta fundamental la adopción de políticas públicas que fomenten el aprovechamiento sustentable de la energía solar en nuestro país. Existen dos tipos de energía solar, caracterizados por la tecnología en que basan el aprovechamiento de la radiación del sol: la fotovoltaica y la termosolar.

8.2.1. Sistema fotovoltaicos

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar en electricidad a través de paneles, celdas, conductores o módulos fotovoltaicos, hechos principalmente de silicio y formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando electricidad. La capacidad de las celdas para convertir la radiación solar en electricidad, depende del material del que estén hechas (se estima que la capacidad total de las instalaciones fotovoltaicas en México es de 18.5 MW, que generan en promedio 8 794.4 MWh por año).

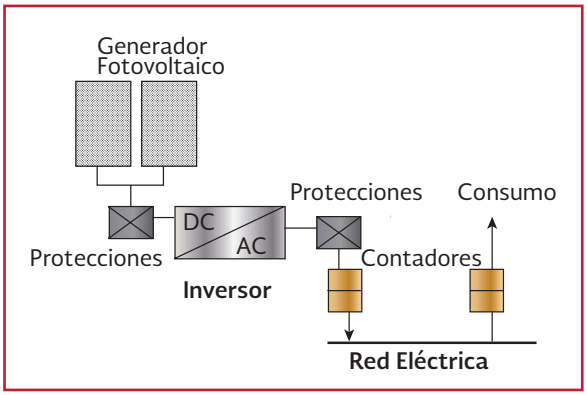
Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con silicio. Cuando el silicio se contamina o dopa con otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar. Los electrones son excitados por la luz y se mueven a través del silicio; esto es conocido como efecto fotovoltaico y produce una corriente eléctrica directa. Las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y pueden tener una vida útil de entre 20 y 30 años.

Este tipo de sistemas tiene la siguiente clasificación:

- Instalaciones conectadas a la red eléctrica
- Instalaciones aisladas de la red

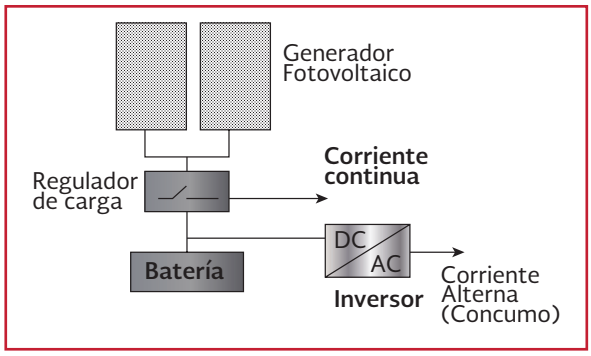
Los sistemas conectados a la red eléctrica pueden ser instalados en terrazas, azoteas, edificios, además de que pueden ser utilizadas como plantas de producción a nivel industrial (Ilustración 8.3).

Ilustración 8.3 Instalación conectada a la red



Por otro lado los sistemas aislados de la red son utilizados en aplicaciones agropecuarias o de ganadería, antenas de telefonía, bombeo y tratamiento de agua, etc. La diferencia entre estos dos sistemas básicamente es que en ocasiones es más económico instalar un sistema fotovoltaico que hacer una toma a la red (Ilustración 8.4).

Ilustración 8.4 Instalación aislada de la red



Los equipos encargados de convertir la corriente directa en alterna son los dispositivos denominados inversores, además de esta función, estos se encargan de regular la tensión de salida y deben entregar una señal lo más sinusoidal posible ya que las señales cuadradas producen demasiadas armónicas, se clasifican de acuerdo a su potencia nominal de salida.

Al momento de adquirir uno se debe tener en cuenta ciertas especificaciones:

- Potencia nominal
- Eficiencia pico
- Consumo de potencia durante la noche
- Consumo de potencia sin carga
- Rango de tensión de entrada
- Garantía
- Monitoreo de datos
- Debe estar avalado por las Normas correspondientes

Es aconsejable que estos equipos trabajen cerca de su potencia nominal, de lo contrario la eficiencia disminuirá. Los inversores deben ser elegidos con una potencia lo más cercana posible a la carga de consumo.

8.2.2. Planta de tratamiento de aguas residuales energizado con granja solar en México[17]

La ciudad de Nogales, Sonora, México, comparte la frontera internacional al norte con la ciudad de Nogales, en el condado de Santa Cruz, Arizona (EEUU). Desde 1951 ambos municipios utilizan una planta de tratamiento de aguas residuales común que ambos países financian en forma proporcional, en función de sus respectivas contribuciones de flujo. Aproximadamente el 80 por ciento de las aguas residuales tratadas en la planta proviene de la ciudad mexicana.

Debido a los costos de operación, en 2010 inició la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) *Los Alisos*, que beneficiará a 70 000 habitantes. El efluente de la planta se descarga en el arroyo de Los Alisos, que fluye hacia el sur, donde se utiliza para el riego y la recarga de acuíferos.

La sostenibilidad ambiental es una cuestión de interés nacional en México y la energía solar ha sido durante mucho tiempo una opción de energía alternativa reconocida en todo el país y de reciente desarrollo. Hasta la fecha, las tecnologías solares se han utilizado en las comunidades rurales que carecen de acceso a los servicios de suministro de agua y electricidad centralizadas. En México se han establecido directrices sobre el desarrollo de las fuentes de energía renovables. Esto complementado en 2008 por la ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética con la que se fomenta a incorporar en las políticas públicas el desarrollo y uso de fuentes de energía renovables.

Aprovechando la experiencia de la Comisión Nacional del Agua con energías renovables, se incorporó en el proyecto de la PTAR de *Los Alisos*, una granja de paneles solares, que ofrece beneficios económicos y ambientales. El diseño del sistema fotovoltaico comenzó en mayo de 2011, con un estudio detallado de varias alternativas para su configuración. El proyecto seleccionado tiene una superficie de 15 000 metros cuadrados, en los que 3 920 paneles solares generarán 1 600 000 kWh/año. Aunque la producción de electricidad de granja panel solar variará a lo largo del año dependiendo de la intensidad de la radiación solar (Ilustración 8.5), la generación de energía anual promedio será aproximadamente igual a la requerida para alimentar la PTAR. Una conexión permanente a la red eléctrica nacional (operada por la Comisión Federal de Electricidad) servirá a un doble propósito: alimentar de energía a la planta para y asegurar la operación de los Alisos las 24 horas del día, durante todo el año (incluyendo la noche, los períodos nublados y meses de invierno) y la distribución del exceso de energía generada, en los meses de verano a la red nacional.

Al momento de la publicación del MAPAS, la PTAR "Los Alisos" ya está en funcionamiento y la granja de paneles solares, que comenzó su construcción en noviembre de 2012 (observe la Ilustración 8.6), se encuentra en pruebas finales.

La PTAR "Los Alisos" en México demuestra una aplicación práctica de la utilización de la energía solar y será prácticamente autosuficiente de energía cuando entre en operación la granja solar, sirviendo a más de 70 000 habitantes mediante en tratamiento y recuperación de aproximadamente 6.5 millones de metros cúbicos de aguas residuales al año, la PTAR Los Alisos es la primera de

17 UNESCO (2014)

su tipo en América Latina. Este proyecto innovador debe impulsar el desarrollo de proyectos similares en el futuro cercano, con lo cual las comunidades y los organismos operadores podrán ser eficientes, económicamente autosuficientes y contribuirán a la sostenibilidad ambiental. De la Ilustración 8.7 a la Ilustración 8.9 se muestran diversas instalaciones de la granja solar.

Ilustración 8.5 Producción energética media de la granja solar de la PTAR Los Alisos

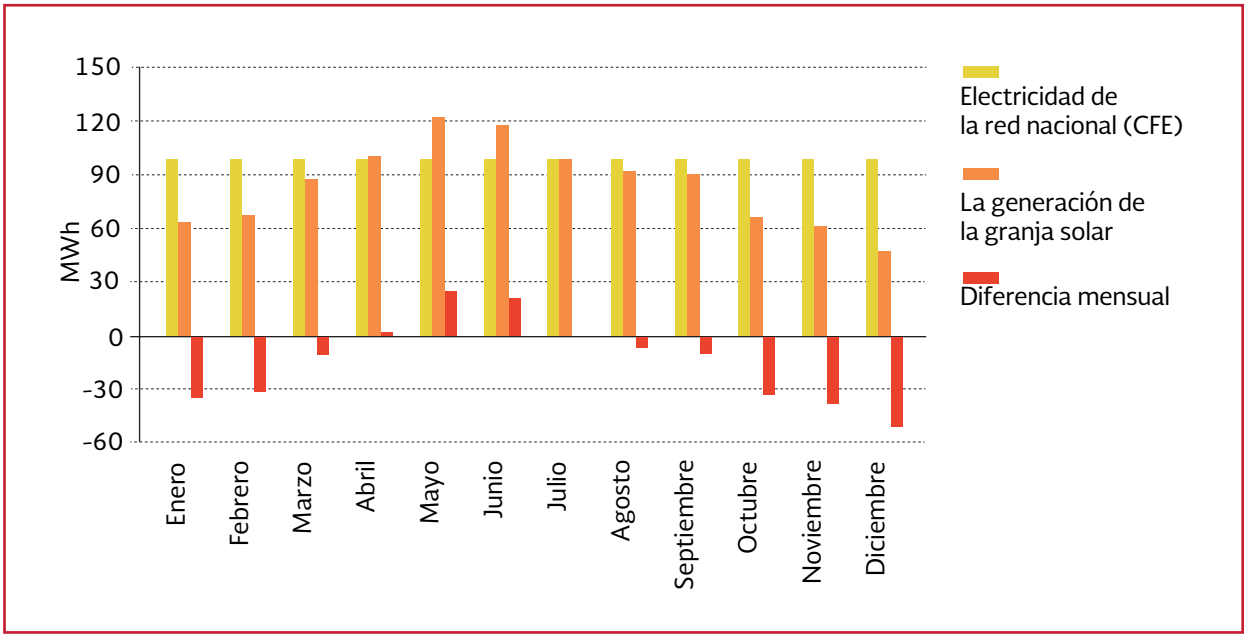


Ilustración 8.6 Granja solar de la PTAR de los Alisos durante su construcción



Ilustración 8.7 Campo solar para la PTAR Los Alisos en Nogales, Sonora, México



Ilustración 8.8 Instalaciones de la Granja solar de Los Alisos



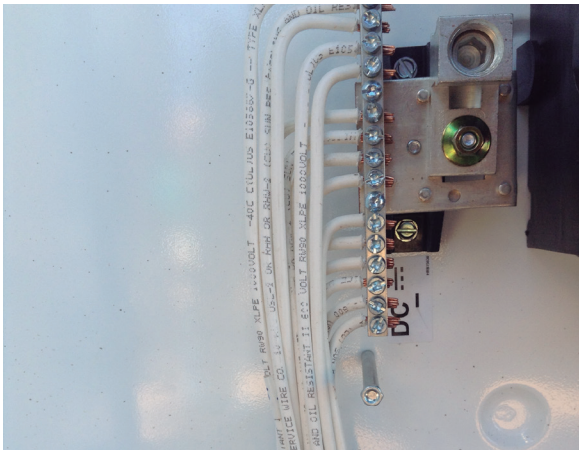
Ilustración 8.9 Dispositivos y conexiones de la granja solar de Los Alisos





Ilustración 8.9 Dispositivos y conexiones de la granja solar de Los Alisos (continuación)









8.3. Energía hidráulica

Consiste en el aprovechamiento de la caída del agua a una cierta altura para producir energía eléctrica, es decir transforma la energía potencial de la corriente de agua o salto durante la caída en energía cinética. Este tipo de energía emplea los elementos naturales tales como: garganta o catarata natural, ciclo de las mareas (energía mareomotriz), energía de las olas (undimotriz), diferencia de temperatura de las aguas del mar o se construyen presas (Ilustración 8.10). La infraestructura más común son las centrales hidroeléctricas. En nuestro país también tenemos pequeñas corrientes de agua (energía minihidráulica) que pueden ser aprovechadas para generar electricidad, con fines productivos y de consumo doméstico.

8.3.1. Energía minihidráulica

La energía minihidráulica es producida en instalaciones hidroeléctricas de capacidad limitada, utilizando la energía potencial o cinética generada por el agua que corre al salvar el desnivel natural o artificial existente entre dos puntos.

Este proceso permite la transformación de dicha energía en electricidad, utilizando turbinas que se mueven mediante el volumen de agua que circula a través de éstas. La potencia mecánica producida por la corriente de agua es transmitida de la turbina a un generador eléctrico, mediante un eje giratorio.

8.4. Beneficios

Energía eólica

a) Es limpia. El poder del viento no produce desechos peligrosos, ni contribuye al calentamiento global
b) Es abundante y confiable. México cuenta con uno de los recursos eólicos más importantes a nivel mundial
c) Es económica. Con los precios actuales del gas y del petróleo, la generación de electricidad mediante el poder del viento es altamente competitiva

Ilustración 8.10 Plantas hidroeléctricas



d) Funciona. Dinamarca y España ya obtienen más del 20 por ciento de su electricidad mediante el poder del viento
e) Crea empleos. La industria eólica generará miles de nuevos empleos en México
f) De bajo impacto. A diferencia de otras tecnologías, los parques eólicos no son instalaciones que tengan un alto impacto en su entorno
g) Es segura. La tecnología para aprovechar el viento se ha vuelto más confiable y segura y las tecnologías de prospección permiten altos niveles de certidumbre en cuanto a producción eléctrica, hasta con 7 días de anticipación
h) Es popular. La energía del viento es una de las tecnologías más populares y ampliamente aceptadas a nivel mundial. Las encuestas de opinión arrojan que más del 80% de las personas encuestadas, están a favor de energía del viento

Energía solar

a) La radiación solar se convierte directamente en energía eléctrica
b) Se genera modularmente sólo la cantidad que se requiere
c) Se instala muy fácilmente y su costo cada vez es menor
d) El mantenimiento es mínimo
e) Su tiempo de vida es relativamente largo (20 años o más)
f) Uso más eficiente de la célula solar: con una pequeña cantidad de material semiconductor se consigue la misma energía eléctrica que con un sistema convencional
g) Las áreas grandes de espejos o de lentes que proporcionan la concentración óptica son baratas comparadas con las grandes áreas de material solar, así que se pueden mantener los costes del sistema más bajos

Energía hidráulica

a) Reducción de riesgos por inundaciones
b) Mitigación de la erosión de las cuencas
c) Mejoramiento de las labores agrícolas
d) Desarrollo agroindustrial
e) Derrama económica por la construcción y operación
f) Arraigo en las zonas rurales y capacitación

Estas son algunas recomendaciones de los beneficios para los sectores hídricos del CRE y la SENER para estas fuentes de energía sustentables.

8.5. Estrategias de fomento

Para incentivar la participación privada en la generación de energía eléctrica con fuentes renovables, diferentes instituciones como la CRE, la CFE y la SENER, otorgan los siguientes incentivos[18].

- Banco de energía: permite la acumulación de excedentes de energía a los productores bajo el esquema de autoabaste-

18 Fuente: SENER (2013)

cimiento para ser utilizados en el futuro o ser vendidos a la CFE
- Tarifa preferencial para la transmisión de energía
- Medición neta (Net Metering): se aplica a proyectos de pequeña escala (hasta 10kWp para hogares y 30 kWp para empresas). Consiste en compensar el costo de la electricidad utilizada con la energía aportada a la red nacional
- Metodología de contraprestaciones para el pago a los generadores de ER: establece los precios máximos y mínimos con los que el suministrador (CFE) podrá adjudicar los contratos de generación de electricidad en los esquemas de pequeño productor y productor independiente, así como también la contraprestación (remuneración) que les pagará a las empresas ganadoras. Esto permitirá transparentar el proceso y ofrecer certidumbre y una utilidad razonable a los interesados en generar electricidad con fuentes renovables

Energía eólica

1. Crear un portal que contenga información técnica, científica, tecnológica, industrial y legal, junto con información de las regiones con potencial para el desarrollo, así como de la infraestructura existente y necesaria para el desarrollo de la industria eólica
2. Vincular la política de energía eólica con programas de electrificación rural
3. Establecer mecanismos de participación pública que permitan el dialogo y articulación entre los actores públicos, privados y sociales claves para el desarrollo de la industria
4. Promover la utilización de las mejores prácticas internacionales para la coexistencia de los sistemas eólicos con la biodiversidad y su hábitat, en particular la fauna voladora residente y migratoria, así como con la vocación natural de los suelos
5. Identificar las capacidades técnicas, de servicios y de manufactura disponibles en las zonas con recurso eólico
6. Difundir ante el sector industrial los beneficios que se pueden obtener por la manufactura de componentes de energía eólica, así como para su investigación y desarrollo, entre otras

Energía solar

Las acciones específicas para el desarrollo de la energía solar en México son las siguientes:

1. Establecer condiciones óptimas para la productividad y competitividad de la industria de la energía solar, atrayendo inversiones y generando empleos formales y de calidad
2. Lograr la integración social, económica y tecnológica de las comunidades rurales a los sistemas de energía solar, a fin de elevar el nivel de desarrollo de su población, además de promover la capacitación en su utilización
3. Utilizar preferentemente la energía eléctrica producida a partir de sistemas solares para el suministro de energía en zonas donde actualmente no llega la cobertura del Sistema Eléctrico Nacional
4. Garantizar el cumplimiento de la normatividad ambiental en todas las etapas productivas de la industria de la energía solar
5. Evaluar, en una perspectiva costo benefi-

cio, la construcción de obras de infraestructura en materia de energía solar a mayor escala

6. Poner a disposición de los particulares las disposiciones legales conforme a las cuales se deben llevar a cabo las actividades relacionadas con la industria y, en su caso, otorgar asesoría técnica

Energía hidráulica

Las acciones específicas para el desarrollo de fuentes minihidráulicas son las siguientes:

1. Fortalecer las acciones de electrificación rural mediante fuentes minihidráulicas
2. Evitar provocar impactos negativos al ambiente, los ecosistemas, la biodiversidad y las cuencas hidrológicas con la construcción de minihidroeléctricas
3. Establecer la infraestructura necesaria para el aprovechamiento del potencial nacional proveniente de fuentes minihidráulicas, así como la necesaria para su interconexión con la red nacional
4. Crear una base de información fiable que sustente las políticas, programas y acciones relativas al desarrollo de minihidráulicas
5. Fortalecer las capacidades nacionales de investigación y desarrollo tecnológico, en materia de minihidráulicas

La utilización de fuentes de energía renovables, como la fotovoltaica (solar) y la eólica, es una opción que debe fomentarse, ya que de este modo se puede reducir parcialmente la presión sobre los recursos naturales y la contaminación generada por la utilización de hidrocarburos, particularmente por la quema de combustibles fósiles; así como también incrementar el valor agregado de las actividades económicas.

8.6. Cambio climático

El clima está experimentando una alteración asociada a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y diversos contaminantes atmosféricos; ya que estos han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70 por ciento entre 1970 y 2004. Para los dos próximos decenios las proyecciones indican un calentamiento de aproximadamente 0.2 ºC por decenio; de proseguir el incremento en las emisiones de GEI, el clima experimentará durante el siglo XXI numerosos cambios, muy probablemente mayores que los observados durante el siglo XX.

Dado lo anterior, recomendamos que los Organismos Operadores realicen un análisis de sus infraestructuras e identifiquen sus puntos vulnerables ante el Cambio Climático, ya que este trae como consecuencia incremento en la demanda de agua, problemas de calidad del agua, entre otros, y esto requerirá un mayor consumo de energía en los sistemas de bombeo, plantas potabilizadoras y de tratamiento.

Por otro lado, debido a los efectos del Cambio Climático, se presentan daños en las instalaciones y los equipos, como sobrecalentamiento de cables y motores, presentando pérdidas y disminución de eficiencia en los sistemas.



9

Determinación de la eficiencia energética para un sistema de bombeo

9.1. Mediciones

Para determinar la eficiencia energética se deben realizar una serie de mediciones en el equipo de bombeo, las cuales se especifican en la NOM-006-SEDE y se presentan de forma resumida en el capítulo 6, las cuales incluyen.

1. Niveles de bombeo y presión de descarga (apartado 6.7)
2. Gasto (apartado 6.7)
3. Frecuencia de rotación (apartado 6.6)
4. Potencia eléctrica requerida (apartado 6.8.1)

9.2. Inspección y operación preliminares

Todas las partes involucradas en el diagnóstico de la bomba deben hacer una inspección de la instalación, tan completa como sea posible, para determinar el cumplimiento de los requerimientos de la propia instalación y la conexión correcta de toda la instrumentación. En la satisfacción de estos requerimientos la bomba debe ponerse en marcha y, tanto la bomba como la instrumentación deben revisarse inmediatamente para identificar cualquier evidencia de mal funcionamiento. Debe realizarse también una revisión inmediata del nivel del agua, procediendo a realizar revisiones periódicas adicionales hasta que el nivel se estabilice en conformidad de las partes. Cualquier evidencia de mala operación o presencia de gas o material abrasivo dentro del pozo deberá indicarse en ese instante. También debe realizarse una revisión preliminar de todos los valores de la prueba para la conformación de las lecturas, además de realizarse una revisión final por si se percibe una mala operación.

9.3. Registros

El responsable debe llenar, antes de iniciar la prueba, el formato correspondiente a la información general del sistema y equipos, datos de placa de la bomba y el motor, tipo de instrumentación empleada, etcétera, tal como se indica en la Tabla 9.1.

Las lecturas del nivel dinámico, presión de descarga, flujo, medición de la tensión, corriente y factor de potencia, son tomadas en el punto de operación

normal, y registradas en el formato de la Tabla 9.2, realizando como mínimo tres lecturas de todos los parámetros indicados, con intervalos de tiempo de 15 minutos. El procedimiento que se recomienda para toma de lecturas es hacer observaciones continuas al menos durante 1 minuto y registrar los valores promedio para ese punto de prueba.

En el reporte final deben registrarse también las constantes y multiplicadores de los instrumentos de medición, constantes básicas y fórmulas usadas que no se enlisten en el procedimiento y todas las dimensiones del pozo indicadas en las figuras 1, 2 o 3 (según sea el caso). Se deben incluir por mutuo acuerdo los datos u observaciones adicionales, copia de los datos de prueba y las certificaciones de calibración de los instrumentos.

9.4. Observaciones durante la prueba

Durante la prueba en campo es necesario que al menos dos personas estén presentes y que todas las observaciones que se realicen se anoten en las hojas de captura y se comenten entre los presentes, con la finalidad de tomar acuerdos al respecto. Si la localización de los instrumentos lo permite debe preferirse que los registros de cada lectura se verifiquen de conformidad por todas las partes.

Es difícil evaluar el efecto de las fluctuaciones en las lecturas porque puede presentarse una variable de amortiguamiento en algunos instrumentos, sin embargo, es deseable que las partes acuerden el seguimiento de la prueba para las lecturas mínimas (o máximas) de los instrumentos.

9.5. Cálculos

Todos los cálculos involucrados en el desarrollo de la prueba están indicados en el formato de la Tabla 9.2.

La tolerancia máxima permisible combinada (función de los instrumentos de medición empleados durante la prueba), no debe exceder de ± 4.5 por ciento del valor garantizado por el fabricante. Además se deberá complementarse con la Tabla 9.3.

9.6. Ejemplo

9.6.1. Antecedentes del ejemplo

A fin de mejorar las condiciones operativas, reducir el consumo energético y el pago que se realiza por el mismo concepto, se requiere desarrollar un proyecto ejecutivo donde se especifique amplia y detalladamente los cambios a realizar y la forma de realizarlos.

El proyecto ejecutivo deberá incluir la totalidad de planos, especificaciones técnicas y memorias de cálculo requeridas para la mejora de la infraestructura instalada en el cárcamo.

Se considera que los catálogos de conceptos y presupuestos forman parte integral del proyecto ejecutivo, así como los calendarios de ejecución y de suministro de materiales.

Tabla 9.1 Formato para el registro de datos nominales y características del sistema electromecánico

Propietario:					
Domicilio:					
Localización del pozo :					
Parámetros garantizados de la bomba	Tipo: Vertical Sumergible	Marca:			
	No. Pasos:				Flujo (m^3/s):
	Carga total (m):				Eficiencia (%):
Datos de la columna	Diámetro de succión (m):	Diámetro de la flecha (m):			
Datos de la placa del motor	Marca:	Eficiencia (por ciento):	Potencia (kW):		
	Tensión(V):	Corriente(A):	Frecuencia de rotación (r/min)		
Instrumentos de medición	Tipo	Certificado de calibración			
			Exactitud (%):	Expedido por:	Fecha de vencimiento:
Flujo					
Carga de presión:					
Nivel dinámico	Sonda eléctrica:				
	Sonda neumática:				
Potencia eléctrica (medición directa):					
Potencia eléctrica (medición indirecta) Voltímetro:					
Amperímetro:					
Factorímetro:					
Duración de la prueba Hora de inicio:	Fecha:	Responsable:			
	Hora de inicio:			Hora de finalización:	

Fuente: NOM-006-ENER

9.6.2. Objetivos

Realizar un ***Proyecto de Incremento de Eficiencia de equipos de bombeo***, del cárcamo de la administración directa de obras y servicios de agua potable y alcantarillado, para determinar el estado actual del funcionamiento de equipos de bombeo y proponer soluciones económicas de implantación a corto y mediano plazo, que mejoren el servicio de agua a los usuarios y contribuyan a la reducción de consumo y costo energético.

Tabla 9.2 Reporte de pruebas de campo

No.	Símbolo	Descripción	1	2	3	4
1	D_i	Diámetro interno de la tubería (m)				
2	n	Frecuencia de rotación (r/min)				
3	ND	Nivel dinámico (m)				
4	x	Distancia desde el nivel de referencia a la línea de centros del manómetro (m)				
5	p_1	Lectura del manómetro a la descarga (m)				
6	p_m	Presión a la descarga = [(4) + (5)] (m)				
7	A	Área del tubo a la descarga = [$\pi \times (1)^2/4$] (m^2)				
8	q_v	Flujo (m^3/s)				
9	h_v	Carga de velocidad = [{(8)/(7)}^{2} / 196.133] (m)				
10	hf_c	Pérdidas de fricción en la columna (m)				
11	hd	Carga a la descarga = [(6) + (9) + (10)] (m)				
12	H	Carga total = [(3) + (11)] (m)				
13	I_A	Corriente línea A				
	I_B	Corriente línea B				
	I_C	Corriente línea C				
	I	Promedio = [($I_A + I_B + I_C$) / 3] (A)				
14	V_{AB}	Tensión fase AB				
	V_{AC}	Tensión fase AC				
	V_{BC}	Tensión fase BC				
	V	Promedio = [($V_{AB} + V_{AC} + V_{BC}$) / 3] (v)				
15	f_{PA}	Factor de potencia línea A				
	f_{PB}	Factor de potencia línea B				
	f_{PC}	Factor de potencia línea C				
	FP	Promedio = [($f_{PA} + f_{PB} + f_{PC}$) / 3] (%)				
16	P_e	Potencia de entrada al motor = 1.732 (13)(14) (15) (10^{-5}) (kW)				
17	P_s	Potencia de salida de la bomba = [(8) (12) (9.806)] (kW)]				
18	η	Eficiencia electromecánica = [(17)/(16)] (100) (%)				

Fuente: NOM-006-ENER

9.6.3. Objetivos específicos

- Recopilar y analizar la información existente, tal como, datos de placa y diseño de equipos de bombeo, datos estadísticos y de facturación y cualquier información adicional electromecánica
- Verificar el funcionamiento del rebombeo y su interacción con la red
- Realizar la revisión de los equipos de bombeo del sistema de abastecimiento que se encuentran en uso actualmente, a fin de evaluar la eficiencia electromecánica
- Determinar la viabilidad técnica económica de algunas medidas de ahorro de energía combinadas con la optimización hidráulica y física del sistema de agua potable

Tabla 9.3 Exactitud esperada de la prueba en campo

Medición	Instrumento	Exactitud (%)	Exactitud al cuadrado
Carga a la descarga			
Nivel dinámico			
Promedio ponderado de la exactitud de la carga*. (A1)			
Flujo (A2)			
Potencia (A3)			
Suma de la exactitud elevada al cuadrado (A12+A22+A32)0.5			
Exactitud combinada			
*El promedio es ponderado de acuerdo a ka porción de la carga a la descarga y la carga a la succión para la carga final:			
$\frac{(Exactitud\ ND)ND}{H} + \frac{(Exactitud\ hd)hd}{H} = promedio\ ponderado\ de\ la\ exactitud\ de\ la\ carga$			
Observaciones durante la prueba:			

- Estimar el índice energético y el costo promedio de energía, para las condiciones actuales y para aquellas que se espera lograr
- Plantear las recomendaciones y conclusiones respectivas del proyecto

9.6.4. Alcances y estructura del proyecto

De acuerdo con el proceso técnico y lógico de elaboración, el ejemplo se desarrolló en dos fases siguientes:

- ***Fase I.-*** Evaluación de las condiciones de funcionamiento actual de los equipos de bombeo
- ***Fase II.-*** Determinación de acciones enfocadas al ahorro del consumo y costo de energía eléctrica de los equipos

9.6.5. Recolección y análisis de información existente

En esta primera parte del proyecto, los trabajos se enfocaron a recopilar información sobre los equipos instalados en tres rubros principales: datos históricos de operación y datos de placa de los equipos; datos históricos sobre el consumo energético por equipo. Con el análisis de esta información disponible y en los trabajos para generar la información faltante, se sentaron las bases de la medición en campo y de las propuestas de corto y mediano plazo, para mejorar el servicio de agua a los usuarios y contribuir a la reducción del consumo energético.

Datos generales de operación hidráulica

- Consumos Energéticos del cárcamo que contenga los consumos históricos de energía eléctrica durante el periodo de un año

- Fotografía satelital donde se indique la ubicación del cárcamo.

Datos de equipos y de sus consumos de energía eléctrica:

Datos que contengan un histórico de todos los componentes del recibo de facturación eléctrica, también factor de potencia adimensional por equipo por mes ver de la Tabla 9.4 a la Tabla 9.8.

Descripción del equipo y las instalaciones

En reunión con personal técnico se define la lista de los equipos a evaluar. En la Tabla 9.9 se presenta la lista final de equipos a evaluar, donde se incluyen las características registradas para cada uno de ellos, tales como: folio, potencia nominal del motor, marca de la bomba.

El suministro de energía eléctrica

Se indica el tipo de tarifa la dirección si como la demanda contratada ver Tabla 9.10.

El consumo de energía eléctrica

Los consumos de energía eléctrica se muestran en la Tabla 9.11. También en la imagen se muestra un ejemplo de una ficha técnica que se elaboró por el organismo y complementados con levantamientos en campo, ver Ilustración 9.1.

9.6.6. Campaña de medición en equipos de bombeo

En este apartado se describe de manera general la metodología, actividades y resultados sobre la evaluación de la eficiencia electromecánica de los equipos de bombeo, que se realizó en campo.

Dicha metodología cumple con toda la normatividad establecida en el apartado 9.1.

9.6.7. Metodología para la evaluación de la eficiencia electromecánica

Considerando que la eficiencia electromecánica del conjunto bomba-motor se define como el cociente de la potencia medida a la salida de la bomba entre la potencia de entrada al motor eléctrico, expresado en porcentaje, ver Ecuación 7.7, Ecuación 7.8 y Ecuación 7.9. De las expresiones anteriores se deriva la necesidad de realizar la medición de los parámetros hidráulicos y eléctricos respectivos.

9.6.8. Medición de parámetros hidráulicos y eléctricos

La medición en campo de los parámetros eléctricos e hidráulicos se realizó en cada una de los equipos de bombeo. Para ello se utilizaron equipos de medición, simultáneamente para el sistema eléctrico como para el sistema hidráulico, así como los formatos de campo ver Tabla 9.1 e Ilustración 6.5.

Para la construcción de las curvas carga - *gasto Q-eficiencia* η, se realizaron tres pruebas en cada uno de los equipos, midiendo los parámetros hidráulicos y eléctricos simultáneamente en cada prueba. Antes de cada prueba, se abría el desfogue o se cerraba parcialmente la válvula principal del tren de descarga, con el fin de variar las condiciones de operación del equipo de bombeo.

Tabla 9.4 Formato de captura del Consumo Energético (kW/H) por mes

No. Folio	Nombre	Consumo Energético (kW/H)								
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1	Cárcamo	167 776	118 482	169 232	148 120	179 550	167 916	184 898	180 362	170 142

Tabla 9.5 Formato de captura del Importe Pagado por concepto de energía eléctrica ($)

No. Folio	Nombre	Importe por Energía ($)					
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1	Cárcamo	$ 228,512.76	$ 280,825.83	$ 261,363.03	$ 278,890.32	$ 272,566.95	$ 253,446.47

Tabla 9.6 Formato de captura del Factor de Potencia por equipo y por mes

No. Folio	Nombre	Factor de Potencia								
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1	Cárcamo	0.910	0.915	0.903	0.897	0.892	0.889	0.890	0.889	0.887

Tabla 9.7 Formato de captura del Cargo/Bonificación por Factor de Potencia por mes

No. Folio	Nombre	Cargo(+)/Bonificación(-) por Factor de Potencia								
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
1	Cárcamo	-$779	-$761.51	-$254.25	$456	$1 397.14	$1 816.82	$1 938.66	$2 163.23	$2 260.67

Tabla 9.8 Formato del resumen anual de la facturación energética

No. Folio	Nombre	Consumo Energético (kW/H)	Importe Pagado ($/año)	Costo Unitario ($/kWH))	Costo por Demanda Maxima	Factor de Potencia Prom (adim)	Cargo por FP ($)
1	Cárcamo	1 486 478.00	$ 2 278 191.78	$ 1.533	$ 495 576.92	0.8967	$ 8,237.62

Tabla 9.9 Características de los diferentes equipos considerados en el proyecto

No.Folio	Tipo de captación	Nombre de la captación	Nombre del equipo	Potencia nominal	Marca de bomba
1	Rebombeo	Cárcamo	Equipo montoya	75	-
			Equipo sumergible 2	100	-
			Equipo sumergible 3	60	-
			Equipo 2	125	-
			Equipo 3	125	-
			Equipo 1	125	-

Tabla 9.10 Relación de Números de Cuenta contratados con CFE

No.Folio	Tipo de captación	Nombre de la captación	Dirección	Tarifa	Num de cuenta	Demanda contratada kW
1	Rebombeo	Cárcamo	Ubicación de cárcamo|	HM	82D----------	439

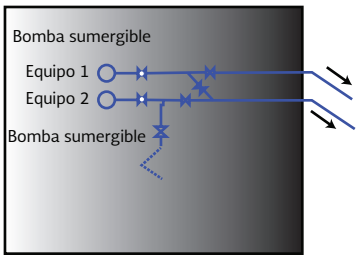
Tabla 9.11 Consumos de energía eléctrica de los equipos de bombeo

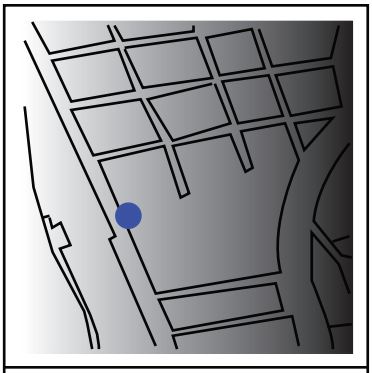
No.Folio	Nombre	Consumo Anual (kW/H)	Importe Pagado ($/año)	Costo Unitario ($/kWH))
1	Cárcamo	$ 1,981,970.67	$ 3,037,589.04	$ 1.533

Ilustración 9.1 Ficha técnica tipo de equipo de bombeo

Características del

Bombeo:	
Calle:	
Colonia:	
Referencias:	





Croquis de localización

Datos de placa de motor		Dimensiones		Datos de bomba	
Marca:		ϕ de Columna (in) :		Marca:	
Potencia (h.p):		ϕ de Ademe (in):		Tipo:	
r/min		Prof. de pozo(m):		Modelo:	
Tensión:		Datos del impulso		Datos de diseño :	
Eficiencia (%):		Tipo:		H (m):	
		Material:		Q (l/s):	

Características del tren de descarga

Daimetro del tren (in)	Num. de válvulas	Daimetro de válvulas (in)	Cuenta con medidor	Estado del medidor





En los equipos de bombeo donde no fue posible variar la carga y el caudal, por no contar con desfogue o la válvula principal o porque no funcionaba adecuadamente, solamente se realizó la medición en el punto normal de operación ver Ilustración 9.2

Medición de parámetros eléctricos

Respecto a la medición de los parámetros eléctricos de cada equipo, se realizaron mediciones de la tensión, corriente eléctrica y factor de potencia utilizando un analizador de redes eléctricas.

Se registraron las características de los componentes eléctricos (arrancador, capacitor, medidor, transformador, cableado, etcétera) con que cuenta cada equipo de bombeo, y se levantó un reporte de las condiciones físicas en que se encontró el equipo al momento.

Parámetros hidráulicos

Para determinar el estado actual del funcionamiento hidráulico de los equipos de bombeo del proyecto, fue necesario realizar la medición de:

a) El caudal utilizando un medidor ultrasónico portátil
b) La presión en la descarga, utilizando manómetros
c) Los niveles dinámicos y estáticos, utilizando una sonda eléctrica con óhmetro
d) También, se midieron con un flexómetro los parámetros de referencia de la posición del equipo de bombeo, tales como la altura de la tubería en la descarga, la distancia que existe entre la tubería de succión y el manómetro, y la altura del manómetro en la descarga

9.6.9. Resultados de las mediciones de eficiencia electromecánica y curvas de operación

Para reportar los parámetros hidráulicos y eléctricos medidos también se utilizaron los formatos recomendados por las normas correspondientes. En términos generales las normas 001-ENER, 006-ENER y 010-ENER utilizan el mismo formato con pequeñas variaciones en la simbología de parámetros ver Tabla 9.12 y Tabla 9.13.

Con los registros de los parámetros hidráulicos y eléctricos medidos en campo, se calcularon los valores de las eficiencias electromecánicas para los equipos de bombeo del proyecto, utilizando la Ecuación 7.6, Ecuación 7.7, Ecuación 7.8 y Ecuación 7.9 El resumen de los resultados de las eficiencias electromecánicas de los equipos bajo análisis en condiciones de operación actual, se presentan en Tabla 9.14.

La mínimas eficiencias establecidas en las normas oficiales mexicanas se muestran en la Tabla 7.9. Haciendo una comparación entre las eficiencias de normas y las obtenidas se pueden detectar las áreas de oportunidad.

Conclusiones

- La eficiencia global de conjunto de equipos de bombeo oscila entre 54 y 42%, valor muy inferior a los mínimos establecidos en las normas oficiales mexicanas
- Estas eficiencias promedio representa menos que lo que se puede alcanzar con equipos motor-bomba de alta eficiencia
- Optimizando el factor de potencia en equipos se tendrá un ahorro potencial

- Se recomienda hacer el análisis adecuado de tarifas
- Existe potencial de ahorro económico por paro en hora analizada
- Se debe considerar el equipamiento de los nuevos equipos de bombeo, es recomendable darle mantenimiento a la subestación y hacerle las pruebas de resistencia de aislamiento al transformador y niveles de aceite
- Se deberán proteger todos los componentes eléctricos con un sistema contra descargas eléctricas, apartarrayos y tierras físicas, para asegurar la operación de los equipos de bombeo
- Los conductores eléctricos para la toma de energía deberán ser según los indicados en la memoria de cálculo eléctrico
- Las instalaciones eléctricas deberán cumplir con las normas establecidas según las Normas de Instalaciones Eléctricas

Ilustración 9.2 Curva típica característica de operación medida en los equipos de bombeo

Cárcamo tecnológico (Montoya)		
Gasto (L/s)	Carga (m.c.a)	Eficiencia (η)
31.79	103.1	61.51
38.95	63.23	46.75

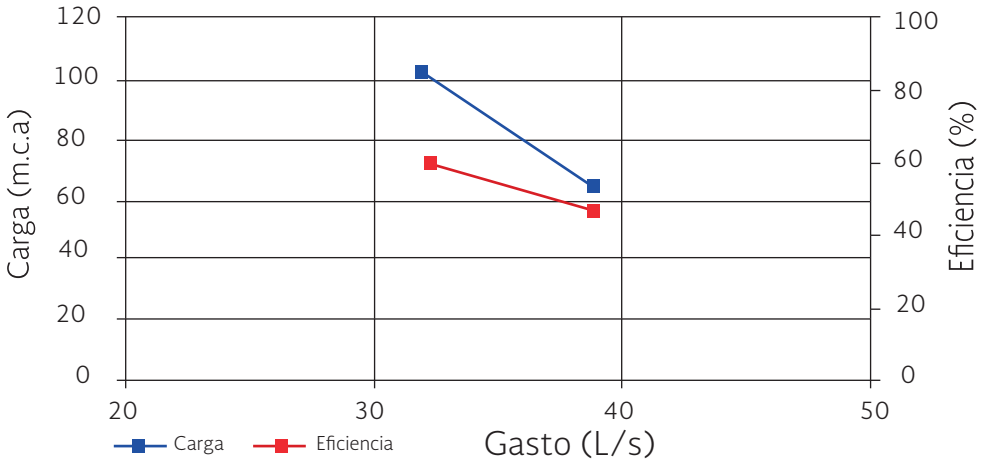


Tabla 9.12 Eficiencia energética electromecánica es sistemas de bombeo para pozos profundos en operación

No.	Símbolo	Descripción	Equipo (Montaya)		Equipo Sumergible 2	
			1	2	3	4
1	D_i	Diámetro interno de la tubería (m)	0.15	0.15	0.20	0.20
2	n	Frecuencia de rotación (r/min)				
3	ND	Nivel dinámico (m)	2.50	2.50	0.0	0.0
4	x	Distancia desde el nivel de referencia a la línea de centros del manómetro (m)	0.35	0.35	2.50	2.50
5	p_1	Lectura del manómetro a la descarga (m)	100.0	60.00	60.00	60.00
6	p_m	Presión a la descarga = [(4) + (5)] (m)	100.35	60.35	62.50	62.50
7	A	Área del tubo a la descarga = [3 141 592 × (1)²/4] (m²)	0.018	0.018	0.032	0.032
8	q_v	Flujo (m³/s)	0.03179	0.03895	0.058	0.058
9	h_v	Carga de velocidad = [{(8)/(7)}² / 196 133] (m)	0.1548	0.2325	0.1645	0.1645
10	hf_c	Pérdidas de fricción en la columna (m)	0.10	0.14	0.25	0.25
11	hd	Carga a la descarga = [(6) + (9) + (10)] (m)	100.6	60.73	62.91	62.91
12	H	Carga total = [(3) + (11)] (m)	103.10	63.23	62.91	62.91
13	I_A	Corriente línea A	75.93	75.36	107.00	107.00
	I_B	Corriente línea B	76.96	76.64	120.00	120.00
	I_C	Corriente línea C	84.44	83.62	107.00	107.00
	I	Promedio = [(I_A + I_B + I_C) / 3] (A)	79.11	78.54	111.33	111.33
14	V_{AB}	Tensión fase AB	457.00	455.00	461.00	461.00
	V_{AC}	Tensión fase AC	462.00	460.00	461.00	461.00
	V_{BC}	Tensión fase BC	465.00	463.00	456.00	456.00
	V	Promedio = [(V_{AB} + V_{AC} + V_{BC}) / 3] (v)	461.33	459.33	459.33	459.33
15	f_{PA}	Factor de potencia línea A	0.80	0.80	0.80	0.80
	f_{PB}	Factor de potencia línea B	0.86	0.86	0.84	0.84
	f_{PC}	Factor de potencia línea C	0.82	0.82	0.87	0.87
	f_p	Promedio = [(f_{PA} + f_{PB} + f_{PC}) / 3] (%)	0.83	0.83	0.84	0.84
16	P_e	Potencia de entrada al motor = 1 732 (13)(14) (15) (10^{-5}) (kW)	52.25	51.65	74.11	74.11
17	P_s	Potencia de salida de la bomba = [(8) (12) (9 806)] (kW)]	32.14	24.15	35.94	35.94
18	η	Eficiencia electromecánica = [(17)/(16)] (100) (%)	61.51	46.75	48.49	48.49
Eficiencia electromecánica promedio			***54.13***		***48.04***	

Fuente: NOM-006-ENER

Tabla 9.13 Eficiencia del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo

No.	Símbolo	Descripción	Cárcamo (Equipo 2)	Cárcamo (Equipo 3)
			1	3
1	N_d	Nivel dinámico (m)	0.00	0.00
2	X	Distancia desde el nivel de referencia a la línea de centros del manómetro (m)	11.10	5.10
3	P_L	Lectura del manómetro a la descarga (m)	60.00	70.00
4	P_{gd}	Presión a la descarga = [(2) + (3)] (m)	71.10	75.10
5	A	Área del tubo a la descarga (m^2) = [π $Di^2/4$]	0.018	0.018
6	Qv	Flujo (m^3/s)	0.060	0.060
7	Hv	Carga de frecuencia (m) = [{(6)/(5)}2 / 19.6133]	0.56	0.56
8	H_{fc}	Pérdidas de fricción en la columna (m)	0.36	0.36
9	H_d	Carga a la descarga (m) = [(4) + (7) + (8)]	72.02	76.02
10	H	Carga total = [(1) + (9)] (m)	72.02	76.02
11	I_A	Corriente línea A	124.00	149.00
12	I_B	Corriente línea B	140.00	165.00
13	I_C	Corriente línea C	127.00	153.00
	I	Corriente promedio (A) = [$(I_A + I_B + I_C)$ / 3]	130.33	155.67
	V_{AB}	Tensión fase AB	470.00	460.00
	V_{BC}	Tensión fase BC	469.00	458.00
14	V_{AC}	Tensión fase AC	463.00	452.00
	V	Tensión promedio (V) = [$(V_{AB} + V_{BC} + V_{AC})/3$]	467.33	456.67
	F_{pA}	Factor de potencia línea A	0.84	0.86
	F_{pB}	Factor de potencia línea B	0.87	0.88
15	F_{pC}	Factor de potencia línea C	0.90	0.81
	F_p	Factor de potencia promedio (%) = [$(F_{pA} + F_{pB} + F_{pC})$ / 3]	0.87	0.85
	P_e	Potencia de entrada al motor (kW) =1.732(11)(12)(13) X 10^{-3}	91.78	104.66
	P_s	Potencia de salida de la bomba (kW) = [(6) × (10) × 9 806 65 x 10^{-3}]	42.37	44.73
16	η_b	Eficiencia del conjunto motor-bomba sumergible (%) = [(15) / (14) × 100]	46.17	42.74
		Flujo (m^3/S)	***0.060***	***0.060***
		Carga total (m)	***72.02***	***76.02***
		Potencia (kW)	***71.97***	***75.97***

Fuente: NOM-010-ENER

Tabla 9.14 Resumen de la evaluación de eficiencias electromecánicas en condiciones de operación actual

No.	Folio	Nombre	Tipo de instalación	Potencia nominal (h.p)	Eficiencia mínima NOM (%)	Eficiencia Actual (%)	Área de oportunidad mínima (%)
1	1	Equipo Montoya	Motor-Bomba sumergible	60	60	54.13	5.87
2	2	Equipo sumergible 2	Motor-Bomba sumergible	100	60	48.04	11.96
3	3	Cárcamo (Equipo 2)	Motor-Bomba Bipartida	125	60	46.17	13.83
4	4	Cárcamo (Equipo 3)	Motor-Bomba Bipartida	125	60	42.70	17.3



Conclusiones

Para mantener o incrementar los niveles de eficiencia de acuerdo a los parámetros de diseño en las instalaciones electromecánicas de los sistemas hidráulicos, es necesario crear y/o renovar programas de mantenimiento preventivo y de rehabilitación: tomar decisiones y darles seguimiento, además éstas, deberán ser justificadas mediante un diagnóstico realizado con base en pruebas mecánicas, eléctricas e hidráulicas, las cuales deben cumplir con la normatividad vigente.

La eficiencia de la bomba, es un concepto de suma importancia ya que representa la vida útil de las instalaciones y ahorro de energía eléctrica en la operación de éstas; por ello es necesario que no pase un tiempo prolongado para dar mantenimiento y cuidar que cada una de las partes que conforman el equipo cumplan con la función para la cual fueron diseñadas. Asimismo, después de un análisis técnico-económico, sustituir partes y componentes del equipo para conservar una alta eficiencia.

Varios son los factores que intervienen para lograr una óptima eficiencia como lo son las pérdidas, características del líquido, la selección de la bomba, la instalación del equipo, válvulas y potencia del motor (consumo de energía eléctrica). Se debe tener en cuenta que lo indicado es solo una parte de lo mucho que se puede hacer para mejorar la eficiencia en los sistemas hidráulicos.

No hay duda de que se debe hacer un uso más eficaz de los recursos energéticos del mundo en el futuro, si se quiere satisfacer la demanda creciente de energía de una población en rápido aumento e industrialización. Es importante hacer énfasis en el uso de las energías renovables, ya que por este medio lograremos disminuir la dependencia por combustibles fósiles, así como cuidar del medio ambiente.

La principal causa del desperdicio de energía es su uso irracional, ocasionado como consecuencia de malos hábitos y acciones, o por la ineficiencia de procesos, instalaciones y equipamientos.

Debido a que la energía eléctrica, juega un papel determinante, en los costos de operación de los sistemas de bombeo de agua potable, plantas de tratamiento, potabilizadoras, etcétera; se sugiere, dependiendo de los problemas específicos que tenga cada uno de los Organismos Operadores según sea el caso, realizar lo siguiente:

Incrementar la eficiencia de los equipos, aplicar programas de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica que incluyan: reducir y controlar la demanda de las instalaciones, seleccionar tarifas de suministro de energía adecuadas a la demanda y carga conectada, corregir los picos de demanda máxima, instalar filtros, variadores de frecuencia, motores eficientes, bancos de capacitores, relevadores de protección, corregir desbalance de tensión, adecuar la carga eléctrica, recontratar tarifas de suministro de acuerdo a la carga conectada, analizar el factor de carga, aplicar los manuales de operación, mantenimiento y el documento denominado eficiencia en sistemas de bombeo, de acuerdo a normas, recomendaciones de fabricante y la utilización de energías renovables.

El ahorrar energía es clave para abatir costos; ya que utilizando adecuadamente los equipos, empleando energía de manera eficiente, realizando el mantenimiento adecuado, usando alta tecnología y teniendo instalaciones sin fugas de energía, se consumirá una menor cantidad de esta.

Existen otros sistemas con tecnologías de punta que no se indican en el documento, pero que coadyuvan al ahorro y uso eficiencia de la energía eléctrica como lo son los de telegestión hidráulica, radio telemetría, entre otros.

Aplicando los conceptos mencionados, es posible incrementar la vida útil de las instalaciones electromecánicas del sector hídrico; asimismo lograr ahorrar energía eléctrica y hacer eficiente su uso, para beneficio de los usuarios, del organismo operador y del país.

A

Problemas

1. ¿Qué es eficiencia energética?

_____
_____

2. ¿Qué es un indicador de desempeño energético?

_____
_____

3. ¿Qué es una auditoria energética?

_____
_____

4. ¿Qué es calidad de energía?

_____
_____

5. ¿Qué son las armónicas?

_____
_____

6. ¿Cómo afectan las armónicas al consumo de energía eléctrica?

_____
_____

7. Defina intensidad energética.

_____
_____

8. ¿Qué es intensidad energética?

_____
_____

9. ¿Qué problemas ocasiona, al operar equipos de bombeo, fuera de su mejor punto de eficiencia?

_____
_____

10. ¿Es conveniente intercambiar equipos de una instalación a otra?

_____
_____

11. Mencione los dispositivos que reducen el consumo de energía, en un sistema eléctrico.

_____
_____

12. Se tiene un pozo cuya capacidad es de 200 kW, este opera 12 horas al día indicar que tarifa es la más conveniente.

_____
_____

13. ¿Qué es factor de carga y que significa?

_____
_____

14. ¿Porque es importante el control de la demanda en hora punta?

_____
_____

15. Mencione las fuentes de energía renovables, que pueden ser aplicables en el sector hídrico.

_____
_____

16. Indicar que tipo de tarifa seleccionaría para una instalación de bombeo de agua potable, que tiene una demanda de 98 kW y opera las 24 horas.

_____
_____

17. En que unidades se expresa la intensidad energética.

_____
_____

18. Indicar la fórmula para calcular la potencia de entrada al motor.

_____
_____

19. ¿Qué expresión utiliza para determinar la potencia de salida de una bomba?

_____
_____

20. Defina qué es eficiencia.

_____
_____

21. ¿Qué desventajas provoca el instalar un motor con una potencia, que excede a la potencia que demanda la bomba?

_____
_____
_____

22. Induce una tensión de secuencia negativa en un motor trifásico, produciendo un campo magnético que gira en dirección opuesta al rotor y en consecuencia se presentan altas corrientes en el rotor; ¿a qué concepto se refiere?

_____
_____

23. ¿Cuándo se debe realizar una auditoria energética?

_____
_____

24. ¿Cuál es el efecto que presenta un motor cuando esta alimentado por una tensión desbalanceada?

_____
_____

25. ¿Qué porcentaje de desbalance de tensión se recomienda normativamente?

_____
_____

26. Indique si ha realizado pruebas de tensión desbalanceada en sus instalaciones

_____
_____

27. ¿Cuál es el porcentaje de desbalance de tensión que en sus instalaciones?

_____
_____

28. ¿Cuál es el porcentaje de corriente desbalanceada que presentan sus motores?

_____
_____

29. Cree usted que al corregir el desbalance de tensión que tienen sus instalaciones ¿podría ahorrar energía? Justifique su respuesta

_____
_____

30. ¿Qué elevación de temperatura en grados centígrados presentan sus motores?

_____
_____

31. Si el motor presenta tensión desbalanceada por encima del cinco por ciento, ¿cree usted que el par a rotor bloqueado puede ser afectado?

_____
_____

32. ¿Se presenta ruido y vibración en algún motor de sus instalaciones? ¿Cree que se deba a una tensión desbalanceada esta situación?

_____
_____

33. Las corrientes desbalanceadas no solamente son influenciadas por la tensión desbalanceada sino además por:

_____
_____

34. Para ahorrar energía ¿ha estudiado las presiones transitorias?

_____
_____

35. La calibración de la lógica de operación del sistema hidráulico ¿tiene que ver con la lógica de calibración del sistema?

_____
_____

36. Usted cree que la revisión de paro y arranque del sistema podrá ahorrar energía al mismo

_____
_____

37. ¿Ha revisado el calendario de mantenimiento últimamente?

_____
_____

38. ¿Cuántas veces anualmente revisa el sistema de medición en el acueducto?

_____
_____

39. ¿Ha revisado los sensores de niveles tanto estáticos como dinámicos en el último año?

_____
_____

40. ¿El acueducto cuenta con un sistema de automatización y telemetría?

_____
_____

41. ¿Ha realizado auditorías energéticas a sus instalaciones?

_____
_____

42. ¿Cuál es la intensidad energética en sus instalaciones?

_____
_____

43. ¿Opera sus instalaciones en horario punta?

_____
_____

44. ¿Cuentan sus instalaciones con algún variador de frecuencia?

_____
_____

45. ¿Usted que operar con un factor de potencia del noventa y nueve por ciento es adecuado?

_____
_____

46. ¿Presentan cavitación sus equipos de bombeo?

_____
_____

47. ¿Operan a la velocidad adecuada sus equipos de bombeo?

_____
_____

48. ¿El equipo de bombeo se encuentra operando eficientemente?

_____
_____

49. ¿Ha realizado recorte de impulsores a sus bombas?

_____
_____

50. Cuando realiza el mantenimiento al equipo de bombeo ¿realiza las pruebas correspondientes y verifica que sean los requeridos por usted?

_____
_____

51. De acuerdo a la normatividad ¿realiza mantenimiento periódico a las válvulas?

_____
_____

52. ¿Qué tipos de mantenimiento conoce?

_____
_____

53. ¿Qué tipo mantenimiento realiza usted a sus instalaciones?

_____
_____

54. Considera que su instalación esta realiza y opera bajo la normatividad

_____
_____

55. ¿Usa el Organismo Operador plantas de emergencia en los horarios punta?

_____
_____

B

Listado de normas para eficiencia energética

Normatividad Nacional	
Normas mexicanas (relacionadas con la electricidad)	
NOM-002-SEDE	Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución
NOM-001-SEDE	Instalaciones eléctricas y su utilización
Normas relacionadas al sector solar	
NMX-J- 645/12-ANCE	Normalización de productos eléctricos-Parte 1: Aspectos de seguridad
NMX-ES-002-NORMEX	Definiciones y terminología de la energía solar
NMX-I-007/2-41-NYCE	Guía para la prueba de radiación solar para equipos
NMX-I-007/2-42-NYCE	Componentes electrónicos-métodos de pruebas ambientales y de durabilidad
Requisitos de construcción de módulos fotovoltaicos:	
NMX-J-618/1-ANCE	Requisitos generales para la construcción de módulos fotovoltaicos
NMX-J-618/2-ANCE	Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos (fv) parte 2: requisitos para pruebas
NMX-J-618/3-ANCE	Requisitos para módulos fotovoltaicos de película delgada calificación del diseño
NMX-J-618/4-ANCE	Requisitos para módulos fotovoltaicos de silicio cristalino calificación del diseño
NMX-J-618/5-ANCE	Método de prueba de corrosión por niebla salina en módulos fotovoltaicos
NMX-J-618/7-ANCE	Evaluación de la seguridad en módulos fotovoltaicos - módulos y ensambles fotovoltaicos de concentración (cpv)-calificación del diseño y aprobación de prototipos
NMX-J-618/6-ANCE	Método de prueba UV (Ultravioleta) para módulos fotovoltaicos
NMX-J-643/1-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 1: Medición de la característica corriente-tensión de los dispositivos fotovoltaicos.
NMX-J-643/2-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 2: Requisitos para dispositivos solares de referencia.
NMX-J-643/3-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 3: Principios de medición para dispositivos solares fotovoltaicos terrestres (FV) con datos de referencia para radiación espectral.
NMX-J-643/5-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 5: Determinación de la temperatura equivalente de la celda (ECT) de dispositivos fotovoltaicos (FV) por el método de tensión de circuito abierto
NMX-J-643/7-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 7: Cálculo de la corrección del desajuste espectral en las mediciones de dispositivos fotovoltaicos
NMX-J-643/9-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 9: Requisitos para la realización del simulador solar
NMX-J-643/10-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 10: Métodos de mediciones lineales
NMX-J-643/11-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-Parte 11: Procedimientos para corregir las mediciones de temperatura e irradiancia de las características corriente-tensión
NMX-J-643/12-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-parte 12: Términos, definiciones y simbología
NMX-J-643/13-ANCE	Dispositivos fotovoltaicos-parte 13: medición en sitio de las características corriente-tensión (i-v) para arreglos de módulos fotovoltaicos (fv) de silicio cristalino
Desempeño y eficiencia de módulos fotovoltaicos	
NMX-J-655/1-ANCE	Mediciones de desempeño de irradiancia, temperatura y energía en módulos fotovoltaicos
NMX-J-655/2-ANCE	Procedimiento para la medición de eficiencia

NMX-J-655/3-ANCE	Desempeño y funcionamiento de los controladores de carga de baterías para sistemas fotovoltaicos
NMX-J-502/1-ANCE-2005	Sistemas de control de centrales generadoras-parte 1: Guía para especificar sistemas de control de turbinas hidráulicas
NMX-J-587-ANCE-2007	Eficiencia energética de motores y generadores de corriente alterna con potencia nominal de 0.746 kw hasta 3 730 kw - métodos de prueba
NMX-J-657/7-1-ANCE-2014	Sistemas híbridos y de energía renovable - guía para la electrificación de áreas no urbanas de difícil acceso-parte 7-1: generadores-generadores fotovoltaicos
NMX-J-657/7-3-ANCE-2014	Sistemas híbridos y de energía renovable - guía para la electrificación de áreas no urbanas de difícil acceso-parte 7-3: grupo generador - selección de grupos generadores para los sistemas de electrificación de áreas no urbanas de difícil acceso
NMX-J-657/7-ANCE-2014	Sistemas híbridos y de energía renovable - guía para la electrificación de áreas no urbanas de difícil acceso-parte 7: generadores
Normas relacionadas al sector eólico	
NOM-081-SEMARNAT	Límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición
NMX-J-673/1-ANCE	Aerogeneradores-parte 1: requisitos de diseño
NMX-J-673/2-ANCE	Aerogeneradores-parte 2: aerogeneradores pequeños
NMX-J-673/21-ANCE	Aerogeneradores-parte 21: medición y evaluación de las características de la calidad de la energía de los aerogeneradores que se conectan a la red
NMX-J-673/3-ANCE	Aerogeneradores-parte 3: requisitos de diseño para aerogeneradores marinos
NMX-J-673/11-ANCE	Aerogeneradores parte 11: técnicas de medición del ruido acústico
NMX-J-673/2-ANCE	Aerogeneradores - parte 2: aerogeneradores pequeños
NMX-J-673/23-ANCE	Aerogeneradores - parte 23: pruebas estructurales de escala completa de las cuchillas del rotor
NMX-J-673/25-1-ANCE	Aerogeneradores - parte 25-1: interacción para la supervisión y el control de parques eólicos - descripción general de principios y modelos.
Normas de eficiencia energética	
NOM-001-ENER	Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba
NOM-002-SEDE/ENER	Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución
NOM-004-ENER	Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 kW a 0,746 kW. Límites, métodos de prueba y etiquetado
NOM-006-ENER	Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba
NOM-008-ENER	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales
NOM-010-ENER	Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba
NOM-013-ENER	Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades
NOM-014-ENER	Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0.180 a 1.500 kW. Límites, método de prueba y marcado
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/SCFI	Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastradas. Límites y métodos de prueba
NOM-020-ENER	Eficiencia energética en edificaciones, Envolvente de edificios para uso habitacional
Normatividad Internacional	
Normatividad ISO	
ISO 50001	Sistemas de Gestión Energética
ISO 50002	Auditorías de Energía
ISO 50003	Requisitos para auditores y certificados

Normatividad Extranjera	
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 14.6	Pruebas de rendimiento hidráulico en bombas rotodinámicas
Normas de calidad energética IEEE	
IEEE 1159	Monitoreo de calidad de energía eléctrica
IEEE 1159.1	Guía para registro y adquisición de datos
IEEE 1159.2	Caracterización de eventos de calidad de energía
IEEE 1159.3	Formato de archivo de datos de calidad de la energía de intercambio de datos
IEEE P1564	Índices caída de tensión
IEEE 1346	Compatibilidad del sistema de alimentación con equipos de proceso
IEEE P1100	Energización y tierra para equipos electrónicos
IEEE 1433	Definiciones para calidad energética
IEEE P1453	Variación de tensión
IEEE 519	Control de armónicas en sistemas eléctricos
IEEE P519A	Guía para establecer límites de armónicas en sistemas eléctricos
IEEE P446	Energía de reservas y emergencia
IEEE P1409	Distribución de energía
IEEE P1547	Distribución e interconexión para sistemas eléctricos
IEC 610004-3	Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test
IEC 61557-12	Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. - Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures - Part 12: Performance measuring and monitoring devices (PMD
IEC 62586	Power quality measurement in power supply systems
IEC 62053-22	Electricity metering equipment (a.c.) – Particular requirements – Part 22: Static meters for active energy (classes 0.2 S and 0.5 S)

La relación de normas presentadas, incluye algunas que si bien, no están enfocadas a la mejora de eficiencia energética, contienen información que es necesaria para el desarrollo y correcto cumplimiento del tema.



C

Pérdidas por fricción en la columna

Tabla B.1 Pérdidas de carga por fricción en la columna de bombas tipo turbina con motor externo, en metro por cada 100 m o en pie por cada 100 pies. Para gastos de 3.15 a 41.31 L/s (50 a 750 GPM)

Diámetro de columna		4"		6"				8"					10"
Diámetro de Flecha (pulgada)		1	1 1/4	1	1 1/4	1 1/2 1 11/16	1 15/16	1	1 1/4	1 1/2 1 11/16	1 15/16	2 3/16 2 7/16	2
GPM	L/s												
50	3.15	0.9	1.6										
60	3.79	1.2	2.2										
70	4.42	1.5	2.9										
80	5.05	1.9	3.6										
90	5.68	2.4	4.4										
100	6.31	2.8	5.3										
125	7.89	4.2	7.7				0.9						
150	9.46	5.7	10.5			0.9	1.3						
175	11.04	7.5	13.5			1.1	1.7						
200	12.62	9.5			1	1.4	2.2						
225	14.20	11.5		0.9	1.2	1.7	2.7						
250	15.77	14		1.1	1.4	2	3.3						
275	17.35			1.3	1.7	2.4	3.9						
300	18.93			1.5	2	2.8	4.5						
325	20.50			1.7	2.3	3.2	5.2						
350	22.08			2	2.6	3.6	6						
375	23.66			2.2	2.9	4.1	6.7				0.9	1.3	
400	25.24			2.5	3.3	4.6	7.5				1	1.5	
450	28.39			3.1	4.1	5.7	9.3			0.9	1.2	1.8	
500	31.55			3.7	4.9	6.9	11.5		0.9	1.1	1.5	2.2	
550	34.70			4.4	5	8.1			1.1	1.3	1.8	2.6	
600	37.85			5.2	6.8	9.5		1	1.3	1.5	2.1	3	
650	41.01			6	7.8	11		1.2	1.5	1.8	2.4	3.5	
700	44.16			6.8	9			1.4	1.7	2	2.8	4.1	1
750	47.32			7.7	10.1			1.7	1.9	2.3	3.2	4.6	1.1

Fuente: NOM-006-ENER

Tabla B.2 Pérdidas de carga por fricción en la columna de bombas tipo turbina con motor externo en metro por cada 100 m o en pie por cada 100 pies. Para gastos de 50.46 a 315.40 L/s (800 a 5000 GPM)

Columna		6"	8"					10"						12"				
Flecha (pulgada)		1	1	1 1/4	1 1/2 1 11/16	1 15/16	2 3/16 2 7/16	1	1 1/4	1 1/2 1	1 15/16	2 3/16 2 7/16	2 11/16	1 1 1/4	1 1/2 1 11/16	1 15/16	2 3/16 02/07/16	2
GPM	L/s																	
800	50.46	8.60	2.00	2.20	2.60	3.60	5.20					0.90	1.30					
900	56.77	10.70	2.50	2.70	3.20	4.50	6.40				1.00	1.20	1.60					
100	63.08		3.00	3.20	3.90	5.40	7.80			1.00	1.20	1.40	1.90					
110	69.39		3.50	3.80	4.60	6.40	9.40		1.00	1.20	1.40	1.70	2.20					
120	75.70		4.20	4.50	5.40	7.50		1.10	1.20	1.40	1.60	2.00	2.60					
130	82.00		4.80	5.20	6.20	8.80		1.20	1.40	1.60	1.90	2.30	3.00					
140	88.31		5.50	6.00	7.20	10.00		1.40	1.60	1.80	2.20	2.70	3.50					
1 500	94.62		6.20	6.80				1.60	1.80	2.00	2.50	3.00	3.90			0.90	1.10	1.30
1 600	100. 93		6.90	7.60				1.80	2.00	2.30	2.80	3.40	4.50		0.90	1.00	1.20	1.40
1 800	113. 54		8.60	9.40				2.20	2.50	2.80	3.40	4.30	5.50	1.00	1.10	1.30	1.50	1.80
2 000	126. 16		10.50	11.40				2.70	3.00	3.50	4.20	5.20	6.70	1.20	1.40	1.60	1.80	2.10
2 200	138. 78							3.20	3.60	4.10	5.00	6.10	7.90	1.40	1.60	1.90	2.10	2.50
2 400	151. 39							3.70	4.20	4.80	5.80	7.20	9.30	1.70	1.90	2.20	2.50	3.00
2 600	164.01							4.30	4.90	5.60	6.80	8.20		1.90	2.20	2.50	2.90	3.50
2 800	176.62							5.00	5.60	6.40	7.80	9.40		2.20	2.50	2.90	3.30	4.00
3 000	189.24							5.60	6.40	7.20	8.90			2.50	2.90	3.30	3.80	4.50
3 200	201.86							6.30	7.10	8.20	10.00			2.80	3.20	3.70	4.30	5.10
3 400	214.47							7.00	8.00	9.10				3.10	3.60	4.10	4.80	5.70
3 600	227.09							7.80	8.90					3.50	4.00	4.60	5.40	6.40
3 800	239.70							8.70	9.80					3.90	4.40	5.10	5.90	7.10
4 000	252.32							9.60						4.20	4.80	5.60	6.50	7.80
4 250	268.09													4.8	5.30	6.30	7.20	8.80
4 500	283,86													5,30	6,00	7,00	8,00	9,90
4 750	299,63													5,80	6,60	7,80	8,80	
5 000	315,40													6,40	7,30	8,50	9,70	

Fuente: NOM-006-ENER

Tabla B.3 Pérdidas de carga por fricción en columna de bombas sumergibles, en metro por cada 100 m o en pie por cada 100 pies

Diámetro de columna		2"	2 ½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	Diámetro de columna	
GPM	L/s											L/s	GPM
25	1.58	1.27	0.54			5.89	2.41	0.60				37.85	600
30	1.89	1.78	0.75			7.82	3.20	0.80				44.16	700
35	2.21	2.36	0.99			10.00	4.10	1.02	0.35			50.46	800
40	2.52	3.02	1.27	0.44		12.50	5.10	1.27	0.44			56.77	900
45	2.84	3.76	1.58	0.55		15.20	6.20	1.54	0.53			63.08	1 000
50	3.15	4.57	1.92	0.67			7.40	1.84	0.63	0.26		63.39	1 100
60	3.78	6.42	2.69	0.94	0.25		8.70	2.16	0.74	0.30		75.70	1 200
70	4.42	8.52	3.58	1.25	0.33		10.00	2.52	0.86	0.35		82.00	1 300
80	5.05	10.90	4.59	1.60	0.42		11.50	2.88	0.99	0.40		88.31	1 400
90	5.68	13.50	5.72	1.98	0.54			3.27	1.12	0.45		94.62	1 500
100	6.31	16.50	6.91	2.41	0.64	0.21		3.68	1.26	0.51	0.33	100.93	1 600
120	7.57	23.10	9.71	3.38	0.90	0.30		4.13	1.42	0.57	0.37	107.24	1 700
140	8.83		12.90	4.50	1.20	0.40		4.57	1.57	0.64	0.41	113.54	1 800
160	10.09		16.60	5.77	1.53	0.51		5.08	1.74	0.71	0.45	119.85	1 900
180	11.35		20.60	7.12	1.91	0.64		5.59	1.91	0.78	0.50	126.16	2 000
200	12.62			8.70	2.32	0.77		8.43	2.88	1.17	0.76	157.70	2 500
220	13.88			10.40	2.77	0.92			4.04	1.64	1.06	189.24	3 000
240	15.14			12.20	3.25	1.08			5.50	2.18	1.40	220.78	3 500
260	16.40			14.10	3.77	1.25			6.90	2.79	1.79	252.32	4 000
280	17.66			16.20	4.32	1.44				3.46	2.23	283.86	4 500
300	18.92				4.91	1.64	0.67			4.21	2.71	315.40	5 000
350	22.08				6.54	2.17	0.88				3.24	346.94	5 500
400	25.23				8.36	2.78	1.14				3.80	378.48	6 000
450	28.39				10.40	3.46	1.42						
500	31.54				12.60	4.21	1.72						
Para gastos de 1.58 a 31.54 L/s (25 a 500 GPM) léase a la izquierda de la doble línea													
Para gastos de 37.85 a 378.48 L/s (600 a 6000 GPM) léase a la derecha de la doble línea													

Fuente: NOM-006-ENER


EB-1

D

Glosario

Acción correctiva. Acción para eliminar la causa de una no conformidad detectada.

Nota. Puede haber más de una causa para una no conformidad

Acción preventiva. Acción para eliminar la causa de una no conformidad potencial.

Nota 1. Puede haber más de una causa para una no conformidad potencial

Nota 2. La acción preventiva se toma para prevenir la ocurrencia, mientras que la acción correctiva se toma para prevenir que vuelva a producirse

Alcance. Extensión de actividades, instalaciones y decisiones cubiertas por la organización a través del SGEn, que puede incluir varios límites.

Nota 1. El alcance puede incluir la energía relacionada con el transporte

Alta dirección. Persona o grupo de personas que dirige y controla una organización al más alto nivel.

Nota 1. La alta dirección controla la organización definida dentro del alcance y los límites del sistema de gestión de la energía

Auditoría interna. Proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencia y evaluarla de manera objetiva con el fin de determinar el grado en que se cumplen los requisitos.

Bomba sumergible. Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión transferida al agua, para trabajar acoplada directamente a un motor eléctrico sumergible.

Bomba vertical tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Diseño específico de una bomba centrífuga que opera con el eje de rotación vertical y parcialmente sumergida en el fluido que maneja, su mayor aplicación es la extracción de agua de pozos profundos para.

B***omba***. Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión, transferida al agua.

Carga a la descarga (hd). Está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros de columna de agua y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), la carga de velocidad y las pérdidas por fricción, en m.

Carga de velocidad (hv). Es la energía cinética por unidad de peso del líquido en movimiento.

Carga total de bombeo (h). Está dada por la suma algebraica de la presión manométrica medida a la descarga (convertida en metros de columna de agua y corregida con la altura a la línea de centros de la toma de señal de presión), el nivel dinámico, las pérdidas por fricción en la columna y la carga de velocidad.

Carga. Es el contenido de energía mecánica que requiere la bomba para mover el agua desde el nivel dinámico hasta el punto final.

Condiciones estables. Es cuando las señales entregadas por los instrumentos de medición cumplen con las oscilaciones y variaciones permitidas.

Consumo de energía. Cantidad de energía utilizada.

Corrección. Acción tomada para eliminar una no conformidad detectada.

Corriente eléctrica (I). Su unidad práctica es el amper. 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.

Desempeño energético. Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía.

Nota 1. En el contexto de los sistemas de gestión de la energía los resultados pueden medirse respecto a la política, objetivos y metas energéticas y a otros requisitos de desempeño energético

Nota 2. El desempeño energético es uno de los componentes del desempeño de un sistema de gestión de la energía

Diablo: Equipo con libertad de movimiento que es insertado en el conductor para realizar funciones de limpieza e inspección del mismo

Diablo de limpieza: Equipo de limpieza y eliminar aire y para verificar dimensiones interiores de la tubería

Eficiencia de la bomba (ηb). Es la proporción de la potencia de salida de la bomba entre la potencia de entrada a la bomba.

Eficiencia del conjunto motor-bomba sumergible (η_T) es la relación de la potencia de salida de la bomba sumergible entre la potencia de entrada al motor.

Eficiencia electromecánica para pozo profundo (η). Es el cociente de la potencia medida a la salida de la bomba entre la potencia de entrada al motor eléctrico. Se expresa en %.

Eficiencia energética. Proporción u otra relación cuantitativa entre el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o de energía y la entrada de energía.

Ejemplo: eficiencia de conversión; energía requerida/energía utilizada; salida/entrada; valor teórico de la energía utilizada/energía real utilizada

Nota es necesario que, tanto la entrada como la salida, se especifiquen claramente en cantidad y calidad y sean medibles

Eficiencia total (η_T). Es la proporción de la potencia de salida de la bomba entre la potencia suministrada a la entrada del motor de la bomba.

Energía. Electricidad, combustibles, vapor, calor, aire comprimido y otros similares.

Nota 1. La energía se refiere a varias formas de energía, incluyendo la renovable, la que puede ser comprada, almacenada, tratada, utilizada en equipos o en un proceso o recuperada

Nota 2. La energía puede definirse como la capacidad de un sistema de producir una actividad externa o de realizar trabajo

Equipo de gestión de la energía. Persona(s) responsable(s) de la implementación eficaz de las actividades del sistema de gestión de la energía y de la realización de las mejoras en el desempeño energético.

Nota. El tamaño y naturaleza de la organización y los recursos disponibles determinarán el tamaño del equipo. El equipo puede ser una sola persona como por ejemplo el representante de la dirección.

Factor de potencia (fp). Relación entre la potencia activa y la potencia aparente.

Flujo, capacidad o gasto (qv). Razón a la cual el volumen de agua cruza la sección transversal del tubo en una unidad de tiempo, se expresa en m^3/s.

Frecuencia de rotación (n). 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).

Indicador de desempeño energético. Iden valor cuantitativo o medida del desempeño energético tal como lo defina la organización nota los idens pueden expresarse como una simple medición, un cociente o un modelo más complejo.

Límites. Límites físicos o de emplazamiento y/o límites organizacionales tal y como los define la organización ejemplo un proceso; un grupo de procesos; unas instalaciones; una organización completa; múltiples emplazamientos bajo el control de una organización.

Línea de base energética. Referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético.

Nota 1. Una línea de base energética refleja un período especificado

Nota 2. Una línea de base energética puede normalizarse utilizando variables que afecten al uso y/o al consumo de la energía, por ejemplo, nivel de producción, grados-día (temperatura exterior), etcétera

Nota 3. La línea de base energética también se utiliza para calcular los ahorros energéticos, como una referencia antes y después de implementar las acciones de mejora del desempeño energético

Mejora continua. Proceso recurrente que tiene como resultado una mejora en el desempeño energético y en el sistema de gestión de la energía.

Nota 1. El proceso de establecer objetivos y de encontrar oportunidades de mejora es un proceso continuo

Nota 2 la mejora continua logra mejoras en el desempeño energético global, coherente con la política energética de la organización

Meta energética. Requisito detallado y cuantificable del desempeño energético, aplicable a la organización o parte de ella, que tiene origen en los objetivos energéticos y que es necesario esta-

blecer y cumplir para alcanzar dichos objetivos .

Motor eléctrico sumergible. Es una máquina rotatoria para convertir energía eléctrica en mecánica, diseñada para operar acoplado a una bomba, sumergidos en el agua.

Motor eléctrico. Máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Nivel de referencia. Es el centro geométrico del tubo de descarga o cabezal y es la referencia para todas las mediciones hidráulicas.

Nivel dinámico (nd o zd). Es la distancia vertical desde el nivel de referencia hasta la superficie del agua cuando se encuentra en operación el equipo de bombeo.

No conformidad. Incumplimiento de un requisito.

Objetivo energético. Resultado o logro especificado para cumplir con la política energética de la organización y relacionado con la mejora del desempeño energético.

Organización. Compañía, corporación, firma, empresa, autoridad o institución, o parte o combinación de ellas, sean o no sociedades, pública o privada, que tiene sus propias funciones y administración y que tiene autoridad para controlar su uso y su consumo de la energía.

Nota. Una organización puede ser una persona o un grupo de personas

Parte interesada. Persona o grupo que tiene interés, o está afectado por, el desempeño energético de la organización

Política energética. Declaración por parte de la organización de sus intenciones y dirección globales en relación con su desempeño energético, formalmente expresada por la alta dirección.

Nota. La política energética brinda un marco para la acción y para el establecimiento de los objetivos energéticos y de las metas energéticas

Potencia de entrada a la bomba (peb). Es la potencia suministrada a la flecha de la bomba y debe expresarse en watt.

Potencia de entrada al motor (pe). Es la potencia en watt, que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba.

Potencia de salida de la bomba (ps). Es la potencia en watt, transferida al agua por la bomba, medida lo más cerca posible del cabezal de descarga.

Pozo. Obra de ingeniería, en la que se utilizan maquinarias y herramientas mecánicas durante su construcción, con la finalidad de interceptar un acuífero y extraer agua del subsuelo.

Procedimiento. Forma especificada de llevar a cabo una actividad o proceso.

Nota 1. Los procedimientos pueden estar documentados o no

Nota 2. Cuando un procedimiento está documentado, se utilizan con frecuencia los términos “procedimiento escrito” o “procedimiento documentado”

Punto óptimo. Es el punto de mayor eficiencia de la bomba de acuerdo con su curva de operación carga-gasto.

Registro. Documento que presenta resultados obtenidos o proporciona evidencia de actividades desempeñadas.

Nota 1. Los registros pueden utilizarse, por ejemplo, para documentar la trazabilidad y para proporcionar evidencia de verificaciones, acciones preventivas y acciones correctivas

Revisión energética. Determinación del desempeño energético de la organización basada en datos y otro tipo de información, orientada a la identificación de oportunidades de mejora.

Nota. En otras normas regionales o nacionales, conceptos tales como la identificación y revisión de los aspectos energéticos o del perfil energético están incluidos en el concepto de revisión energética.

Servicios energéticos. Actividades y sus resultados relacionados con el suministro y/o uso de la energía.

Sistema de bombeo. Es el conjunto motor eléctrico, bomba y conductos que se instalan para la extracción y manejo de cualquier tipo de aguas.

Sistema de gestión de la energía (SGEn). Conjunto de elementos interrelacionados mutuamente o que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, y los procesos y procedimientos necesarios para alcanzar dichos objetivos.

Tamaño. Es el diámetro nominal del tazón.

Tensión eléctrica (V). Diferencia de potencial medida entre dos puntos de un circuito, expresada en volt.

Uso de la energía. Forma o tipo de aplicación de la energía.

Ejemplo: ventilación; iluminación; calefacción; refrigeración; transporte; procesos; líneas de producción

Uso significativo de la energía. Uso de la energía que ocasiona un consumo sustancial de energía y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético nota la organización determina el criterio de significación.

Velocidad de rotación (n). 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).

Nota 1. La acción correctiva se toma para prevenir que algo vuelva a producirse mientras que la acción preventiva se toma para prevenir que algo suceda



E

Notación de variables

Símbolo		Definición
v	=	Velocidad media del caudal
C	=	Constante de calibración del elemento primario
A	=	Área de la sección de la tubería,
g	=	Aceleración de la gravedad
h	=	Carga dinámica usualmente llamada "diferencial de presión", en m
Q_d	=	Caudal a la descarga en la bomba
p_s	=	Carga de presión de operación, en la succión
p_d	=	Carga de presión de operación, en la succión
N_r	=	Nivel de referencia
NDs	=	Medición del nivel dinámico de succión
$D_{r\text{-}m}$	=	Nivel a centro de manómetro
D_i	=	Diámetro interno de la tubería
n	=	Frecuencia de rotación
ND	=	Nivel dinámico
x	=	Distancia desde el nivel de referencia a la línea de centros del manómetro
p_1	=	Lectura del manómetro a la descarga
A	=	Área
q_v	=	Flujo
h_v	=	Carga de velocidad
hf_c	=	Pérdidas de fricción en la columna
hd	=	Carga a la descarga
H	=	Carga total
I	=	Intensidad de corriente
V	=	Diferencia de potencial
FP	=	Factor de potencia
P_e	=	Potencia de entrada al motor
P_s	=	Potencia de salida de la bomba
η	=	Eficiencia electromecánica



F

Notas aclaratorias

Además de los temas presentados, existen otros parámetros y consideraciones que involucran la eficiencia energética que no se indican en este libro. Sin embargo esto no significa que no sean importantes o imprescindibles en la búsqueda de mejorar y optimizar el consumo de la energía en los sistemas de extracción, conducción, distribución y potabilización de agua potable, así como para la disposición y tratamiento de aguas residuales.

Para garantizar el éxito de la mejora de eficiencia, la metodología a utilizar debe estar fundamentada y apegada a la normatividad vigente, tanto nacional, internacional y extranjera; y de la misma forma, debe tenerse en cuenta que la normatividad presentada es este libro solo representa una pequeña porción del total de normas existentes y disponibles para los trabajos de mejora de eficiencia energética.

Nota importante:

Este libro, así como el MAPAS en su conjunto, debe tomarse como una introducción a la mejora de eficiencia en los sistemas de agua potable y debe tenerse muy en cuenta que la información presentada no es de ninguna forma es absoluta y no debe tomarse como ley o norma obligatoria que deba cumplirse o limitarse a lo expuesto en este documento.


SUNPOWER

G

Bibliografía

Andreas, J. (1992). Energy-Efficient Electric Motors: Selection and Application. Second edition. New York.

CONUEE (2013): Guía para ahorrar energía eléctrica en motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla.

Electricity Information 2013, Energy Balances of OECD Countries, Energy Balance of Non-OECD Countries 2013, International Energy Agency (IEA), Paris Cedex 15-France

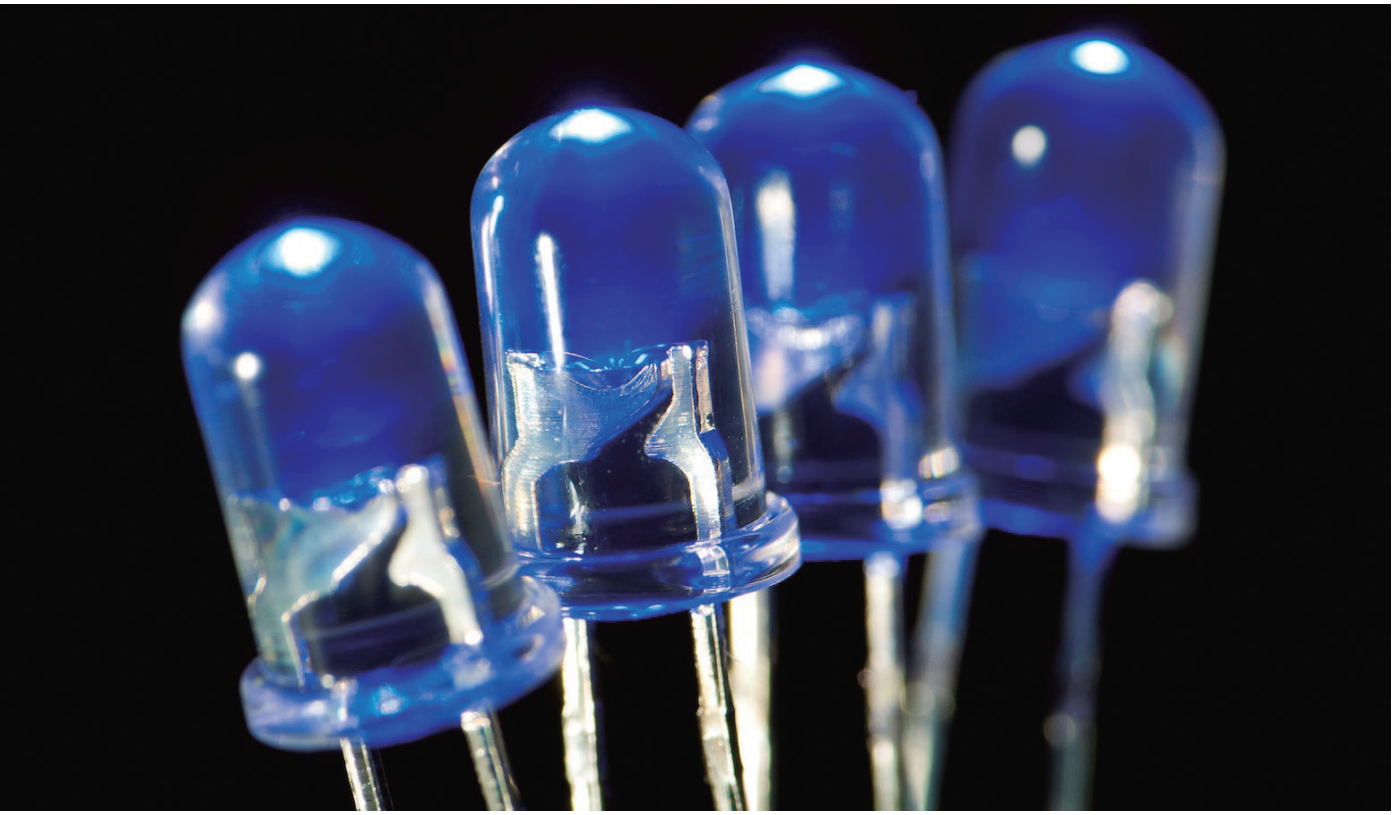
Enríquez G. (2014). El ABC de la calidad de la energía eléctrica. Limusa. México D.F.

Página oficial de Comisión Federal de Electricidad. http://www.cfe.gob.mx.

SENER (2014). Prospectiva del sector eléctrico 2012-2027. Dirección General de Planeación Energética, México, D.F

UNESCO (2014). The United Nations World Water Developement Report 2014 Facing the Challenges, Paris.

World Economic Outlook (2012), Fondo Monetario Internacional FMI, Washington, D.C.



H

Tablas de conversión de unidades

Para Convertir	a	Multiplicar por
L/s	m^3/s	0.001
GPM	L/s	0.06309
kg/cm^2	m c a	10
kg/cm^2	Pa	9.806×10^4
m c a	Pa	9.806×10^3
hp	kW	0.7457

Fuente: NOM-006-ENER



Índice de ilustraciones

Ilustración 1.1 Modelo de sistema de gestión de la energía 6
Ilustración 1.2 Representación conceptual del concepto de desempeño energético 7
Ilustración 1.3 Diagrama conceptual del proceso de planificación energética 9
Ilustración 4.1 Diagrama de flujo del proceso de auditoría de la energía 18
Ilustración 5.1 Onda senoidal sin interrupciones 21
Ilustración 5.2 Distintas formas de falla que afecta la calidad de energía 22
Ilustración 5.3 Representación de armónicas 24
Ilustración 6.1 Posición del medidor del caudal ultrasónico 31
Ilustración 6.2 Medición de flujo con tubo pitot 33
Ilustración 6.3 Medición de flujo mediante orificio calibrado 33
Ilustración 6.4 Medición de flujo por el método de la escuadra 34
Ilustración 6.5 Determinación de la carga total de la bomba 35
Ilustración 6.6 Corrección de la medición de presión 36
Ilustración 6.7 Errores de medición de la carga debida a recirculación de flujo 37
Ilustración 6.8 Toma de presión perpendicular al plano de una curva 37
Ilustración 6.9 Instalación típica para conjunto motor-bomba sumergible 39
Ilustración 6.10 Instalación de las tomas de presión 40
Ilustración 6.11 Medición del nivel dinámico de succión en cárcamos de rebombeo 42
Ilustración 6.12 Medición del nivel dinámico en cárcamos de rebombeo 42
Ilustración 6.13 Daños ocasionados por cavitación 44
Ilustración 6.14 Curva esquemática de capacidad vs carga total para la verificación de la eficiencia garantizada 49
Ilustración 7.1 Ejemplo de comparación de los costos mensuales relativos a la potencia 56
Ilustración 7.2 Factor de potencia contra la capacidad 58
Ilustración 7.3 Factor de potencia contra el porcentaje de capacidad 58
Ilustración 7.4 Gráfico de pérdida de capacidad por una tensión desbalanceada 63
Ilustración 7.5 Comportamiento de la corriente cuando se tiene una tensión desbalanceado 63
Ilustración 7.6 Comportamiento del par, con respecto a la variación de velocidad 64
Ilustración 7.7 Pérdidas por unidad en función de la potencia 65
Ilustración 7.8 Comportamiento del factor de potencia ante la adición de capacitores 67
Ilustración 7.9 Ejemplo de controlador de demanda 68
Ilustración 7.10 Arrancador de motor 70
Ilustración 7.11 Motor de alta eficiencia 72
Ilustración 7.12 Motor de eficiencia premium 72
Ilustración 7.13 Comparación de eficiencia nominal a plena carga de motores de inducción TCCV de 1800 r/min 73

Ilustración 7.14 Comparación de eficiencia nominal de los motores considerados en la Tabla 7.5 74
Ilustración 7.15 Banco de capacitores 75
Ilustración 7.16 Variador de frecuencia 77
Ilustración 7.17 Comportamiento de un filtro paso bajas 77
Ilustración 7.18 Comportamiento de un filtro paso alto 77
Ilustración 7.19 Comportamiento de un filtro paso banda 77
Ilustración 7.20 Sistema de alumbrado inteligente 79
Ilustración 7.21 Esquema de instalación de un sensor 79
Ilustración 7.22 Consumo de energía sin sensor 80
Ilustración 7.23 Consumo de energía con un sensor programable 80
Ilustración 7.24 Lámparas ahorradoras 81
Ilustración 7.25 Lámpara de LED's 81
Ilustración 7.26 Diagrama esquemático de las eficiencias que integran la eficiencia electromecánica 82
Ilustración 8.1 Consumo mundial de energía eléctrica, 1990-2010 (variación porcentual) 93
Ilustración 8.2 Aerogenerador 95
Ilustración 8.3 Instalación conectada a la red 96
Ilustración 8.4Instalación aislada de la red 96
Ilustración 8.5 Producción energética media de la granja solar de la PTAR Los Alisos 98
Ilustración 8.6 Granja solar de la PTAR de los Alisos durante su construcción 98
Ilustración 8.7 Campo solar para la PTAR Los Alisos en Nogales, Sonora, México 99
Ilustración 8.8 Instalaciones de la Granja solar de Los Alisos 100
Ilustración 8.9 Dispositivos y conexiones de la granja solar de Los Alisos 101
Ilustración 8.10 Plantas hidroeléctricas 102
Ilustración 9.1 Ficha técnica tipo de equipo de bombeo 114
Ilustración 9.2 Curva típica característica de operación medida en los equipos de bombeo 116

Índice de tablas

Tabla 3.1 Intensidades energéticas 14
Tabla 3.2 Intensidad energética por estado en el sector hídrico 14
Tabla 3.3 Consumo energético en el sector hídrico por estado 15
Tabla 5.1 Efectos de las armónicas sobre algunos equipos 25
Tabla 6.1 Oscilaciones permisibles en el indicador de los instrumentos de medición 29
Tabla 7.1 Pérdidas en vacío y pérdidas totales máximas permitidas en watts 61
Tabla 7.2 Eficiencias mínimas permitidas para los transformadores de distribución 62
Tabla 7.3 Efectos del desbalance de tensión en el rendimiento de un motor 64
Tabla 7.4 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento 72
Tabla 7.5 Ahorro anual de energía con motores de alta eficiencia 74
Tabla 7.6 Valores de referencia para el cálculo de la eficiencia mínima de la bomba sumergible 86
Tabla 7.7 Valores de referencia para el cálculo de la eficiencia mínima del motor sumergible 86
Tabla 7.8 Valores mínimos de eficiencia en el punto óptimo, en función del gasto y número de pasos 86
Tabla 7.9 Valores mínimos de eficiencia para sistemas de bombeo para pozo profundo en operación 87
Tabla 7.10 Valores mínimos de caudal, carga, eficiencia de la bomba que deben cumplir los equipos para manejo de agua de uso doméstico 87
Tabla 7.11 Eficiencia nominal para motores eléctricos monofásicos de inducción tipo jaula de ardilla 87
Tabla 7.12 Valores de eficiencia nominal a plena carga para motores verticales y horizontales, en por ciento 88
Tabla 7.13 Eficiencias mínimas permitidas referidas a un factor de carga del 80 % para los transformadores de distribución (Eficiencia en %) 88
Tabla 7.14 Densidades de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) 89
Tabla 7.15 Partes que conforman la envolvente de un edificio para uso habitacional (clasificación y denominación) 90
Tabla 7.16 Valores máximos de DPEA para sistemas de iluminación en vialidades con superpostes 90
Tabla 7.17 Características de reflectancia del pavimento 90
Tabla 7.18 Valores máximos de DPEA, iluminancia mínima promedio y valor máximo de la relación de uniformidad promedio para vialidades con pavimento tipo R1 90
Tabla 7.19 Valores máximos de DPEA, iluminancia mínima promedio y valor máximo de la relación de uniformidad promedio para vialidades con pavimento tipo R2 y R3 91
Tabla 7.20 Valores máximos de DPEA, iluminancia mínima promedio y valor máximo de la relación de uniformidad promedio para vialidades con pavimento tipo R4 91
Tabla 7.21 Límites de eficacia luminosa para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas LFCA sin envolvente 91

Tabla 7.22 Límites de eficacia luminosa para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas LFCA con envolvente 92
Tabla 7.23 Límites de eficacia luminosa para las Lámparas Fluorescentes Compactas Autobalastradas LFCA con reflector 92
Tabla 8.1 Variación anual del consumo de electricidad 94
Tabla 9.1 Formato para el registro de datos nominales y características del sistema electromecánico 109
Tabla 9.2 Reporte de pruebas de campo 110
Tabla 9.3 Exactitud esperada de la prueba en campo 111
Tabla 9.4 Formato de captura del Consumo Energético (kW/H) por mes 113
Tabla 9.5 Formato de captura del Importe Pagado por concepto de energía eléctrica ($) 113
Tabla 9.6 Formato de captura del Factor de Potencia por equipo y por mes 113
Tabla 9.7 Formato de captura del Cargo/Bonificación por Factor de Potencia por mes 113
Tabla 9.8 Formato del resumen anual de la facturación energética 113
Tabla 9.9 Características de los diferentes equipos considerados en el proyecto 113
Tabla 9.10 Relación de Números de Cuenta contratados con CFE 114
Tabla 9.11 Consumos de energía eléctrica de los equipos de bombeo 114
Tabla 9.12 Eficiencia energética electromecánica es sistemas de bombeo para pozos profundos en operación 117
Tabla 9.13 Eficiencia del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo 118
Tabla 9.14 Resumen de la evaluación de eficiencias electromecánicas en condiciones de operación actual 119
Tabla B.1 Pérdidas de carga por fricción en la columna de bombas tipo turbina con motor externo, en metro por cada 100 m o en pie por cada 100 pies. Para gastos de 3.15 a 41.31 L/s (50 a 750 GPM) 135
Tabla B.2 Pérdidas de carga por fricción en la columna de bombas tipo turbina con motor externo en metro por cada 100 m o en pie por cada 100 pies. Para gastos de 50.46 a 315.40 L/s (800 a 5000 GPM) 136
Tabla B.3 Pérdidas de carga por fricción en columna de bombas sumergibles, en metro por cada 100 m o en pie por cada 100 pies 137

Contenido alfabético

Administración de la energía 5
Ahorro y uso eficiente de energía eléctrica 53
Alcances y estructura del proyecto 111
Antecedentes XI
Antecedentes del ejemplo 108
Armónicas 23
Arrancadores 69
Auditoría energética 17
Bancos de capacitores 73
Beneficios 102
Calidad de la energía 21
Cambio climático 105
Campaña de medición en equipos de bombeo 112
Campo de aplicación 27
Clasificación de las bombas 27
Conceptos generales 21
Consideraciones de ingeniería y obra 48
Controladores de demanda 68
Determinación de la eficiencia 43
Determinación de la eficiencia energética para un sistema de bombeo 107
Diagnóstico de equipos electromecánicos 81
Dispositivos que reducen el consumo de energía 68
Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical 83
Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0.187 kW a 0.746 kW 83
Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo 82
Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0.746 a 373 kW 84
Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0.180 kW a 1.500 kW 83
Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación 83
Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional 85
Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales 84
Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades 85
Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastradas 85
Eficiencia en sistemas de bombeo 27
Eficiencia mínima de transformadores 60
Ejemplo de eficiencia energética de motores y bombas 51
Energía eólica 94
Energía hidráulica 102
Energía minihidráulica 102
Energía solar 95
Especificación y muestreo 28
Estrategias de fomento 103
Evaluación de eficiencias de la bomba y electromecánica 82
Factor de potencia 56
Factores que afectan la eficiencia 44
Factores que implican un mayor consumo de energía eléctrica 56
Factores que incrementan el ahorro de energía 66

Factores que incrementan la eficiencia 47
Filtros 77
Fuentes de energía renovable 93
Indicadores de desempeño energético 13
Indicadores de desempeño energético en México 13
Inspección y operación preliminares 107
Instrumentos de gestión 1
Lámparas ahorradoras de energía 80
Listado de normas para eficiencia energética 131
Marco jurídico 2
Marco normativo 2
Medición de cargas 38
Medición de gasto y frecuencia de rotación 32
Medición de la potencia eléctrica 41
Medición del caudal a la descarga de la bomba 30
Medición de parámetros eléctricos 41
Medición de parámetros hidráulicos 30
Medición de parámetros hidráulicos y eléctricos 112
Medición de presión 34
Mediciones 107
Metodología para la evaluación de la eficiencia electromecánica 112
Metodología para realizar una auditoría 17
Motores eficientes 70
Motores síncronos 75
Notación de variables 145
Notas aclaratorias 147
Pérdidas de potencia 59
Pérdidas en transformadores 60
Pérdidas por fricción en la columna 135
Planta de tratamiento de aguas residuales energizado con granja solar en México 97
Predicción de eficiencia en bombas centrifugas 43
Pruebas y requerimientos en laboratorio 28
Recolección y análisis de información existente 111
Reducción de la capacidad en motores 60
Registros 107
Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución 84
Resultados de las mediciones de eficiencia electromecánica y curvas de operación 115
Selección de la bomba adecuada 41
Sistema de tierras 23
Sistema fotovoltaicos 95
Sistemas de alumbrado por diodo Emisor de Luz 80
Sistemas de gestión de la energía 5
Sistemas inteligentes de alumbrado 78
Sobredimensionamiento 64
Tablas de conversión de unidades 151
Tarifas de suministro de energía eléctrica 54
Términos y definiciones 3
Variadores de frecuencia 76

Notas:



