

# COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

SUBDIRECCIÓN GENERAL DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA URBANA  
UNIDAD DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO



GERENCIA DE ESTUDIOS  
Y PROYECTOS  
COORDINACIÓN DE  
ELECTROMECÁNICA

**AHORRO Y USO EFICIENTE  
DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**Documento Técnico**

## CONTENIDO

PRÓLOGO	3
CAMPO DE APLICACIÓN	4
SECTOR HIDRÁULICO	4
SECTOR ELÉCTRICO	4
TARIFAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	5
COMPARACIÓN DE COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA ENTRE TARIFAS 6, OM y HM	5
FACTORES QUE IMPLICAN UN MAYOR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	6
<p>FACTOR DE POTENCIA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Factor de potencia con cargas no lineales.</li> <li>➤ Porqué elevar el factor de potencia.</li> <li>➤ Controladores de factor de potencia.</li> </ul>	
<p>ARMÓNICAS</p>	
<p>PÉRDIDAS DE POTENCIA</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Por calentamiento.</li> <li>➤ Por distribución.</li> </ul>	
<p>REDUCCIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS MOTORES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Variación de voltaje y frecuencia.</li> <li>➤ Voltaje desbalanceado.</li> </ul>	
<p>SOBREDIMENSIONAMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Instalaciones de bombeo fuera de operación.</li> </ul>	
DISPOSITIVOS QUE REDUCEN EL CONSUMO DE ENERGÍA	9
<p>CONTROLADORES DE DEMANDA</p> <p>MOTORES EFICIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Análisis de la inversión</li> </ul> <p>VARIADORES DE FRECUENCIA</p> <p>BANCOS DE CAPACITORES</p> <p>FILTROS</p> <p>SISTEMAS INTELIGENTES DE ALUMBRADO</p> <p>SENSORES</p> <p>BALASTROS ELECTRÓNICOS</p> <p>LÁMPARAS AHORRADORAS DE ENERGÍA</p>	
CONCLUSIONES	13
CRÉDITOS	14
GLOSARIO	14

## COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

Este Editorial está dirigido a Gerencias Regionales, Estatales, Organismos Operadores y personas afines a la Ingeniería Electromecánica; con la finalidad de presentar a los usuarios el Ahorro y Uso Eficiente de la Energía Eléctrica en los Sistemas de Bombeo de Agua Potable y Saneamiento.

Responsable:  
Ing. Luis López Ortiz

Septiembre 2003

Revisiones:  
Este documento está sujeto a revisiones, debido a la generación de nuevos desarrollos tecnológicos y normativos.



## PRÓLOGO

La escasez de recursos económicos, ha provocado que gran parte de los Organismos Operadores de agua en el país, presenten deficiencias operativas para el cumplimiento de sus objetivos. Algunas de las 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.

La realización de diversos eventos en los que se tratan temas relativos al ahorro de energía eléctrica es una muestra clara del interés que existe por el mismo.

Podemos mencionar que aquellos Organismos Operadores, que hacen un buen uso de la energía, abaten los costos de operación, utilizando adecuadamente los equipos; asimismo empleando motores eficientes, proporcionando mantenimiento y tecnología, tendremos instalaciones eficientes.

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

## CAMPO DE APLICACIÓN

Este documento aplica a equipos Electromecánicos instalados en Pozos, Plantas de Bombeo, Plantas Potabilizadoras, Plantas de Tratamiento y Plantas Desaladoras.

## SECTOR HIDRÁULICO

El Programa Nacional Hidráulico<sup>1</sup> y las Estadísticas del Agua en México<sup>2</sup>, son el principal instrumento de Planeación y de acuerdo a su perspectiva, estamos conscientes que la sobreexplotación de los acuíferos es cada vez más grave; ejemplo de ello son los 654 acuíferos identificados, donde 97 son explotados en exceso, ya que de estos se extrae el 50 % del agua subterránea que se utiliza. Esta gran cantidad de extracción de agua es superior a la recarga; lo cual modifican las características de operación de los equipos de bombeo, que operan bajo estas condiciones, en especial su eficiencia.

Por otra parte, algunos presentan problemas de incrustación salina, afectando la eficiencia de los equipos<sup>3</sup>.

En los Sistemas de Tratamiento, el contenido de materia orgánica generada, altera el comportamiento de los equipos, perdiendo eficiencia y consumiendo más energía.

Las extracciones de agua dulce, ya sea de origen subterráneo o superficial, son en gran parte realizadas con auxilio de equipo electromecánico.

Desde el punto de vista económico, algunas de las consecuencias de la sobreexplotación son: el incremento en los costos de extracción y el uso de mayor energía eléctrica, para bombear el agua que se encuentra a una mayor profundidad.

En materia de Saneamiento existen una gran parte de plantas de tratamiento y potabilizadoras; asimismo desaladoras, que en su operación requieren de una estructura conformada por sistemas electromecánicos; algunos con equipos especiales, que consumen energía para lograr el proceso, como son los sopladores, filtros, rejillas etc.

En los Sistemas de Bombeo de Agua Potable y Saneamiento, el Sector consume energía por más de 5 900 millones de pesos anualmente (valor estimado). Esto se debe en parte, porque existen equipos con muchos años de operación, con bajos niveles de eficiencia y parámetros que difieren de sus valores nominales de placa; además de instalaciones con deficiencias operativas.

## SECTOR ELÉCTRICO

El Sector Eléctrico Nacional<sup>4</sup>, mantuvo desde 1962-1973 un costo medio de \$ 0,0002 por kWh. En los siguientes años, los incrementos no fueron sustantivos. No fue sino 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 lo referente a el 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%. En la década de los 90's, creció hasta 166 484 GWh, en el 2001 la tasa media de crecimiento es de 5,2 %.

De acuerdo a los estudios de proyecciones del Sector del 2002-2011; se espera un incremento en el consumo de energía del 65%, para cubrir los requerimientos, El Sistema Eléctrico Nacional, requiere de una capacidad de generación de poco más de 63 000 MW; para lograrlo, requerirá de una inversión de poco más de 315 mil millones de pesos (precios del 2002).

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. A partir de 1993 y hasta el 2001, esta relación se redujo hasta un 0,70 aproximadamente. Coadyuvando este indicador, a tomar medidas, para disminuir los subsidios de energía a partir de ese año.

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.

Aproximadamente el 60% de la energía que genera el Sector Eléctrico, es consumida por motores en la industria, incluyendo al Sector Hidráulico, por ello la operación y conservación, representa uno de los campos más fértiles para el ahorro de energía en los sistemas de bombeo, plantas de tratamiento y potabilizadoras.

Debido a lo anterior y a los grandes problemas energéticos a que nos enfrentamos, al continuo crecimiento de la demanda de energía eléctrica en el sector hidráulico, la Gerencia de Estudios y Proyectos a través de la Coordinación de Electromecánica, fomenta el ahorro de energía en las instalaciones de agua potable y tratamiento. Estamos convencidos que sí mejoramos la eficiencia y operamos adecuadamente las instalaciones electromecánicas tendríamos ahorros sustantivos en los primeros meses de su implementación.

<sup>1</sup>. Programa Nacional Hidráulico, 2001 -2006

<sup>2</sup>. Estadística del Agua en México, 2003

<sup>3</sup>. Eficiencias en Sistemas de Bombeo, 2003 editorial.

<sup>4</sup>. Sector Eléctrico Nacional, Pág. Web, junio 03

## TARIFAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La tarifa es la identificación del servicio aplicado, para determinar el precio unitario por kWh fijado por el Sector Eléctrico de acuerdo a las diferentes demandas de potencia, tipo de servicio y carga declarada en el contrato.

Para ahorrar energía eléctrica es necesario determinar cuánta se está desperdiciando y cuánto cuesta ese desperdicio.

Para hacerlo, resulta indispensable conocer cómo el Sector Eléctrico factura la energía y cómo calcula los costos.

TARIFA	DESCRIPCIÓN	TIPO	APLICACIÓN
2	Servicio General hasta 25 kW	General	En Baja Tensión hasta 25 kW de demanda
3	Servicio General más 25 kW	General	En Baja Tensión para más de 25 kW
6	Bombeo de Aguas Potables	Específica	Serv. Publico Bombeo de Aguas Potables y Negras
O-M	Ordinaria Media Tensión	General	Servicio General en MT, demanda menor de 100 kW
H-M	Horaria Media Tensión	General	Horaria en MT, demanda de 100 kW o más
H-S	Horaria AT Subtransmisión	General	Horaria AT, nivel Subtransmisión, de 35 a 220 kV
H-T	Horaria AT Transmisión	General	Horaria AT, nivel Transmisión más de 220 kV

Tabla 1. Tarifas que se aplican a los Sistemas de Bombeo.

La tabla 1, indica la descripción de las tarifas empleadas en el sector hidráulico. Las tarifas 2, 3 y 6 se utilizan en poblados pequeños, donde el gasto se proporciona en menor cantidad. Las tarifas OM, HM, HS y HT, se contratan para instalaciones hidráulicas de mayor capacidad.

## COMPARACIÓN DE COSTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA ENTRE TARIFAS 6, OM y HM

La comparación de costos de la energía eléctrica utilizada en el Sector Hidráulico, puede proporcionar elementos de juicio, que lleven a seleccionar la estructura tarifaria más económica, tomando en cuenta el número de horas diarias de bombeo y la demanda máxima del sistema.

Las tarifas OM y HM, tienen rangos para servicios de media tensión, bien definidos de carga que determinan su aplicación. Para este estudio, se considera una carga operando al 100%, con capacidad de 100 kW.

Al comparar los costos para la condición límite es decir, en el umbral en que cada tarifa define su utilización, la consideración no afecta la aplicación de la tarifa 6 ya que es específica para servicio público de bombeo de aguas potables y negras.

Las tarifas consideradas corresponden la región central del país. Los valores de la tabla 2, indican cuánto cuesta operar un equipo a horas específicas de trabajo.

COSTO MENSUAL EN PESOS					
kWh/mes	kW	Horas	6	OM	HM
0	100	0	\$159,57	\$783,90	\$812,10
3 000	100	1	\$2 793,57	\$9 531,00	\$9 291,00
9 000	100	3	\$8 061,57	\$12 915,00	\$11 631,00
15 000	100	5	\$13 329,57	\$16 299,00	\$13 971,00
24 000	100	8	\$21 231,57	\$21 375,00	\$17 862,60
27 000	100	9	\$23 865,57	\$23 067,00	\$19 223,40
33 000	100	11	\$29 133,57	\$26 451,00	\$21 945,00
51 000	100	17	\$44 937,57	\$36 603,00	\$30 104,80
54 000	100	18	\$47 571,57	\$38 295,00	\$31 470,60
60 000	100	20	\$52 839,57	\$41 679,00	\$34 208,10
63 000	100	21	\$55 473,57	\$43 371,00	\$37 683,24
69 000	100	23	\$60 741,57	\$46 755,00	\$42 566,88
72 000	100	24	\$63 375,57	\$48 447,00	\$43 975,38

Tabla 2. Costo de la Energía de un motor de 100kW que funciona en distintas tarifas y horas de operación<sup>5</sup>

Comparando las tarifas 6 y OM, se observa en la tabla 2, que el cruce entre ellas ocurre a las 8 horas de operación, lo que indica que operar equipos con este horario, tiene un costo de energía eléctrica casi igual para ambas tarifas; es claro que si se opera menor cantidad de horas al día, la tarifa 6 resulta más económica y si se opera por más tiempo, la tarifa OM, resulta ser la más económica.

Si se opera un equipo las 24 horas / día, el costo de la tarifa OM resulta un 23 % menor que la tarifa 6.

Respecto a la tarifa HM, se observa que si operáramos los equipos más de 5 horas diarias, resulta ser la más económica hasta las 20 horas / día, después de este horario, se incrementa el costo, debido a la operación en horario de punta.

Por otro lado, su utilización es obligada si la demanda máxima medida es mayor a 100 kW.

<sup>5</sup>, Fuente Factura CFE, de un Organismo Operador Meses Feb-Marzo 2003

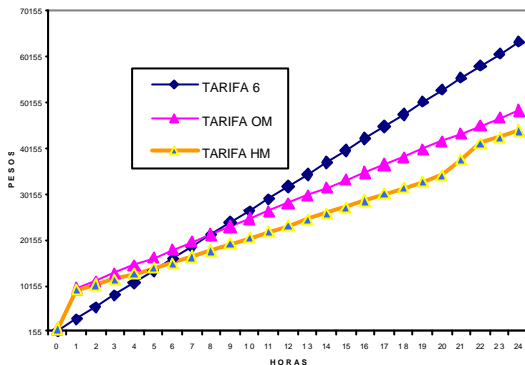


Fig.1. Comparación de costos de energía en diferentes tarifas y horas de operación.

## FACTORES QUE IMPLICAN UN MAYOR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

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

### FACTOR DE POTENCIA

Es el factor de aprovechamiento del consumo de energía, en trabajo útil o fuerza mecánica; es decir es el cociente de la potencia activa entre la potencia aparente. El factor de potencia mínimo recomendable, es de 90%. Cuando se tiene un valor superior al 90%, se aplica una bonificación por parte del Sector Eléctrico; mientras que un porcentaje menor al 90%, significa energía que se desperdicia y la empresa aplica un cargo. Los motores producen un bajo factor de potencia, especialmente cuando trabajan por debajo del 50% de la carga. Operar con un bajo factor de potencia, tiene varias implicaciones, como son: el incremento en el pago de la energía eléctrica y la disminución de la capacidad de los equipos para transformar y distribuir la energía eléctrica.

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

$$P = \sqrt{3} VI * \text{COS}\phi.$$

La potencia real, se designa normalmente como potencia activa y el factor de corrección  $\text{COS}\phi$ , como factor de potencia (FP).

Un bajo factor de potencia, reduce la eficiencia del sistema eléctrico y causa efectos negativos, estos son::

1. Pérdidas por calentamiento.
2. Caída de Voltaje.
3. Sobrecarga en transformadores .

El calibre de los conductores y capacidad de los equipos, se diseñan para un cierto valor de corriente; para no ser dañados, se deben operar sin que la corriente sobrepase el valor de diseño. El exceso de corriente, debido al bajo factor de potencia, puede obligar a utilizar conductores de mayor calibre.

- Factor de potencia con cargas no lineales

El creciente uso de semiconductores ha incrementado la complejidad para corregir el factor de potencia en las instalaciones. Estos semiconductores se usan en componentes como:

1. Convertidores.
2. Variadores de frecuencia.
3. Arrancadores de estado sólido.

- Porqué elevar el Factor de Potencia

1. Elimina el cargo del Sector Eléctrico.
2. Reduce la carga en el equipo de distribución y en los transformadores.
3. Disminuye las pérdidas por efecto Joule ( $I^2R$ ) en transformadores, cables de distribución y otros equipos; resultando un ahorro directo en el consumo de energía.
4. Un factor de potencia adecuado auxilia a estabilizar el voltaje del sistema eléctrico.
5. El Sector Eléctrico ofrece una bonificación.

- Controladores de factor de potencia

Los fabricantes han desarrollado dispositivos de estado sólido, estos funcionan a tal forma que cuando se conectan entre una fuente de poder y un motor eléctrico, mantienen aproximadamente constante el factor de potencia del lado del controlador del motor. El controlador varía el voltaje promedio aplicado al motor, como una función de la carga, de tal manera que disminuye las pérdidas en condiciones de carga ligera.

## ARMÓNICAS

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

Los voltajes y corrientes con contenido armónico, son múltiplos de la frecuencia. Las armónicas generadas por los rectificadores trifásicos de los variadores de velocidad, distorsionan el voltaje y causan problemas a otras cargas conectadas a la línea sobrecargas en algunos componentes sensibles.

Ejemplo de ello son los inconvenientes por armónicas:

1. Ruido excesivo y Sobrecalentamiento en transformadores y motores eléctricos.
2. Sobrecalentamiento de capacitores y cables.
3. Velocidad súbita de dispositivos eléctricos.
4. Fallas de computadoras.
5. Bajo factor de potencia en el sistema.
6. Envejecimiento prematuro del equipo.

## PÉRDIDAS DE POTENCIA

- Por calentamiento

No toda la energía eléctrica que un motor recibe, se convierte en energía mecánica. En su operación presentan pérdidas, por lo que la eficiencia nunca es del 100%. Si las condiciones de operación de un motor son incorrectas o éste tiene algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede superar las de diseño, con la consecuente disminución en su eficiencia.

La corriente en los conductores genera calor, el cual se disipa a través del aislamiento; para controlarlo, debe mantenerse la corriente, dentro de la temperatura de operación de los mismos. Es decir:  $I^2R$  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, debería 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 con ello, el aislamiento de los equipos, reduciendo su eficiencia; y por lo tanto mayor consumo de energía. En otras palabras, entre mayor sea la corriente en el equipo y en los conductores, mayor serán las pérdidas; por ello, se recomienda tener un factor de potencia adecuado, con objeto de tener menores pérdidas de energía.

Si los motores de inducción operan en vacío ó 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  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{4}{4}$  de su potencia; de esta manera, se obtiene el máximo rendimiento. La operación de equipos especificados para servicio continuo, no deberá ser intermitente y tampoco realizar arranques o paros frecuentes.

- Por distribución

En un rango limitado, las pérdidas del motor son independientes unas de otras; sin embargo, al intentar mejorar la eficiencia, se encuentra que las pérdidas son dependientes entre ellas. Entonces el diseño de un motor considera un balance entre varias pérdidas, para lograr una alta eficiencia y conocer otros criterios, incluyendo par a rotor bloqueado, corriente a rotor bloqueado, par de deslizamiento y factor de potencia.

PÉRDIDAS EN EL MOTOR	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS TOTALES
Potencia perdida en el estator	37
Pérdidas en el rotor	18
Pérdidas por fricción y ventilación.	9
Pérdidas por inestabilidad de la carga	16
Otras pérdidas	20

Tabla 3. Pérdidas en cada componente del motor.

Estas pérdidas de distribución indican el significado de cambios en el diseño para incrementar la eficiencia eléctrica en el motor. Sin embargo, como la eficiencia del motor y la potencia van ligadas, la dificultad para mejorar la eficiencia, también aumenta.

La distribución de pérdidas en un motor, nos indica la importancia que tiene la correcta selección de estos. Si consideramos únicamente pérdidas en el Rotor y en el estator y deseamos mejorar la eficiencia de un motor a plena carga en 1% de eficiencia; se requiere disminuir estas, 8 a 9 % , en motores pequeños y de hasta 36 % en motores de mayor capacidad, por ejemplo uno de 180 kW.

## REDUCCIÓN DE LA CAPACIDAD EN MOTORES

- Variación del voltaje y frecuencia

Durante el funcionamiento de los motores eléctricos, se presentan diferentes condiciones de operación y comportamiento, tal es el caso de disminución o incremento del voltaje especificado en su placa. La Norma "NEMA", Nacional Electrical Manufacturers Association, reconoce el efecto de la variación del voltaje y de la frecuencia, en el desempeño de los motores eléctricos. El Estándar recomienda que esta variación, no debe exceder de  $\pm 5\%$ . Es importante diferenciar que el

voltaje nominal de los motores y el voltaje del sistema son diferentes. El voltaje nominal del motor ha sido seleccionado para ser congruente con el voltaje de utilización disponible en las terminales del motor. Esta tensión, permite caídas de voltaje en el sistema de distribución y variaciones de voltaje, cuando la carga en el sistema cambia.

Las Normas NEMA, establecen los voltajes nominales de operación, para motores trifásicos, 60 Hz.

1. En tensión o voltaje, entre 90-110% del nominal.
2. En frecuencia, entre 95-105% de la nominal.
3. Variaciones combinadas de voltaje y frecuencia cuya suma no rebase del 10% de los valores nominales, siempre que la variación de frecuencia no sea mayor de + 5% de la nominal.

La eficiencia de un motor que opera a plena carga, no se altera en forma notable si existen ligeras variaciones de tensión. En cambio, si la carga es menor, las variaciones de tensión, se traducen en un "decremento" significativo en la eficiencia.

Los motores de alta eficiencia, son más "tolerantes" a las variaciones de voltaje, debido a su diseño y construcción.

Para proteger un motor de problemas tales como: alta y baja tensión, sobrecorrientes, sobrecargas, corriente de corto circuito, inversión de fase (no muy frecuente) falla de fase, etc., es necesario instalar relevadores de protección integral.

Los motores operan con mayor efectividad cuando se energizan en su voltaje nominal. En nuestras instalaciones, una gran mayoría de motores operan dentro de la variación de voltaje de  $\pm 10\%$ . Sin embargo, bajo estas condiciones, los equipos presentan marcados efectos en su funcionamiento.

Como es en el par de arranque, el de aceleración; el deslizamiento, velocidad a plena carga, corriente de arranque y ruido; tanto por abajo, como por arriba de la tensión nominal del motor.

Los efectos de la variación del voltaje en el factor de potencia y en la eficiencia, no son tan impactantes en los motores eficientes, como en un motor estándar.

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

Por arriba del voltaje nominal, la sobre elevación de temperatura disminuye, en el motor eficiente, en cambio, en el motor estándar se ve incrementada.

#### ● Voltaje desbalanceado

El voltaje desbalanceado puede ser más perjudicial que la variación de voltaje para el funcionamiento y la vida del motor.

Los voltajes de línea desbalanceados, introducen voltajes de secuencia negativa en el motor trifásico. Este voltaje de secuencia negativa, produce un campo magnético que gira en dirección opuesta al rotor; produciendo altas corrientes en el motor. Un pequeño voltaje de secuencia negativa puede producir corrientes excesivas en comparación con aquellas que están presentes, bajo condiciones de voltaje balanceado.

El desequilibrio en las fases del sistema, no debe exceder en ningún caso del 5%; operar en rangos superiores no es recomendable, ya que se presentan incrementos de temperatura y por consiguiente, pérdidas de energía y baja eficiencia; por lo que es conveniente operar los equipos entre 1 y 2% o tratar de tener los voltajes en las fases casi iguales; de esta manera se incrementa la eficiencia y como consecuencia existirá **ahorro de energía**.

Algunas causas de voltaje desbalanceado son las siguientes:

1. Se presenta un circuito abierto en el sistema primario de distribución.
2. Se tenga una combinación de cargas de una fase y tres fases en el mismo sistema de distribución, con las cargas de una sola fase desproporcionalmente distribuidas.

Cuando se tienen desbalances de voltaje, resultan desbalances de corriente del orden de 6 a 10 veces el desbalance de voltaje, con la consecuencia de sobre-elevación de temperatura en los motores.

Existen otros efectos como lo son: par a rotor bloqueado y el de deslizamiento se reducen; la velocidad se reduce a plena carga, se presenta ruido y vibración.

Existen otras causas de desbalance, como lo son las conexiones del sistema de transformación de voltaje, en especial la Estrella abierta-Delta; Delta abierta-Delta, las cuales producen desbalance en las fases, por algunos desequilibrios que se presentan en las instalaciones eléctricas; estas conexiones no son práctica en el Sector Hidráulico y no se tratarán por lo tanto, en este documento.

#### SOBREDIMENSIONAMIENTO

Sobredimensionar los equipos es una práctica común; por ejemplo, seleccionar un equipo de mayor capacidad provoca necesariamente problemas.

Las desventajas de esta práctica son:

1. Baja eficiencia.
2. Bajo factor de potencia.



3. Alto precio del motor.
4. Alto costo del arrancador.
5. Alto costo de instalación.

- 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, que implique la aplicación de otra tarifa de suministro.

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

Los problemas que enfrentan los Organismos Operadores son muchos; por baja eficiencia operativa, deficiente nivel de servicio, bajo índice de aprovechamiento de la infraestructura y por tener instalaciones inconclusas; esto trae como consecuencia que los sistemas electromecánicos no operen al 100 % de su capacidad y por lo tanto se encuentren sobredimensionados.

## DISPOSITIVOS QUE REDUCEN EL CONSUMO DE ENERGÍA

### CONTROLADORES DE DEMANDA

Los 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.

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, podría disminuirse hasta alcanzar la demanda media o demanda ideal, que se puede interpretar como una medida del aprovechamiento de la energía consumida con respecto a la demanda máxima solicitada.

Para identificar cuáles cargas son trascendentales y cuales no, se debe analizar lo siguiente:

1. Nivel de importancia.

2. Potencia de la carga.
3. Variación diaria.

Existen unidades más sofisticadas que agregan varios parámetros que ofrecen un equipo más poderoso y versátil:

1. 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.
2. Programador de ciclos de trabajo, para determinar los tiempos y períodos del ciclo de apagado de una carga durante diferentes horas de operación.
3. Programador de la hora del día, que añade la posibilidad de apagar equipos independientemente de la demanda.

La demanda máxima puede ser controlada manualmente o con la ayuda de equipos automáticos.

- Control de demanda manual

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

1. Conocer el comportamiento de la planta en diversas condiciones.
2. Relacionar los procesos y equipos con la demanda global.
3. Mover las cargas factibles hacia horarios de menor demanda o menor costo.
4. Analizar la posibilidad de desconectar ciertos equipos de acuerdo a su importancia en cada proceso.
5. 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, ya que tiene controles de tiempo de tipo electrónico, versátil y confiable para asegurar un límite la demanda máxima; es necesario considerar lo siguiente:

1. Carga base
2. Sistematización del control.
3. Control por etapas.
4. Programación.

5. Ajustes.
6. Automatización.

#### 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 eficiencias mayores de 90%.

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 % menos de energía eléctrica.

La reducción de pérdidas de potencia en motores de alta eficiencia está entre el 25 el 43 %. Los motores de la primera generación de alta eficiencia tenían un 25% menos de pérdidas.

Las mejoras en la eficiencia ó en la reducción de pérdidas, se logra incrementando la cantidad de material activo usado en los motores y también mediante el uso de acero magnético de alta calidad.

La selección de un motor eficiente, se basa en varios factores:

1. Comparación del ahorro de energía y vida útil del motor estándar.
2. Confiabilidad para funcionar bajo condiciones adversas.
3. Operación a bajas temperaturas.
4. Nivel de ruido.
5. Confiabilidad para acelerar cargas de alta inercia.
6. Altas eficiencias de operación en cualquier punto de la carga.

En la fig. 2, 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.

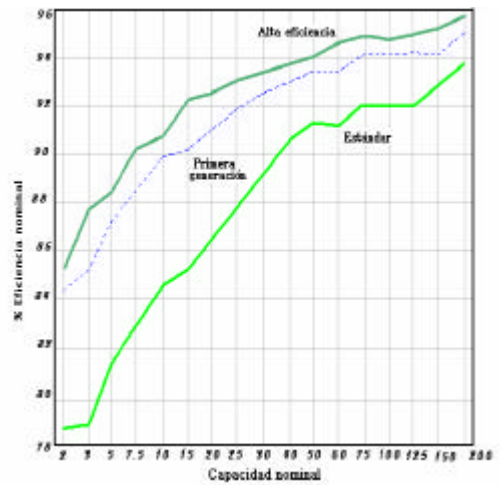


Fig.2. Comparación de eficiencia nominal a plena carga de motores de inducción TCCV de 1800 rpm.

#### • Anál is 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 son:

1. Comparación de eficiencias de motores estándar y ahorradores de energía.
2. Horas anuales de operación.
3. Costo de energía por kWh.

El ciclo de operación de un motor, puede ser determinado por los siguientes criterios:

1. Tiempo de operación del motor.
2. Tiempo de operación del equipo de control.
3. Tiempo de operación del proceso.

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

Se ha visto que la recuperación de la inversión no va más allá de 3 años.

#### VARIADORES DE FRECUENCIA

El variador de frecuencia (velocidad) es un dispositivo de control que energiza, protege y permite la variación de la velocidad en el motor, 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, **ahorro de energía** y disminución del mantenimiento.

El principio de operación de los Variadores de velocidad se basa en elementos estáticos de disparo o apertura como diodos, transistores y tiristores, los cuales son cargas no lineales.

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.

Se han desarrollado infinidad de métodos para cambiar y variar las velocidades de placa de los motores de inducción, pero la eficiencia es baja o el costo del equipo y mantenimiento es alto. Uno de estos métodos es el variador de velocidad, del cual mostraremos las ventajas que tiene sobre otros métodos en determinadas aplicaciones.

La ventaja principal de los variadores de velocidad es que **disminuyen los consumos de energía eléctrica** en los procesos que controlan; dando como resultado considerables disminuciones en los costos de operación.

La alta confiabilidad de los variadores de velocidad ha permitido que cada día se instalen más de estos equipos.

La manera como un variador de velocidad convierte el voltaje y la frecuencia constante y frecuencia variable, se basa en un proceso de dos pasos principales. Primero la corriente alterna es rectificadora y convertida a voltaje de corriente continua, después la invierte y vuelve a entregar corriente alterna pero con diferente frecuencia e igual voltaje.

Los Variadores de velocidad, son adecuados para motores de distintas capacidades, permitiendo ahorros de energía sustantivos.

En sistemas de bombeo con capacidad nominal de gasto del 100%, se puede variar la velocidad, de tal forma que haya reducción de su gasto hasta del 70% del gasto original.

Los factores que se deben incluir en una evaluación técnica y económica de las unidades de velocidad variable son:

1. Magnitud de la reducción en la capacidad.
2. Duración de la reducción.
3. Costo comparativo del equipo.
4. Costo de la energía eléctrica.
5. Características del gasto.

## BANCOS DE CAPACITORES

Para mejorar el FP, la solución es la colocación de bancos de capacitores que proporcionan la potencia reactiva [kVAr] necesaria para que el Factor de potencia esté por encima de lo estipulado por la compañía de suministro (0.90).

Los capacitores, son conectados a través de la línea de potencia en paralelo de la carga de factor de potencia bajo.

El número de kilovars de los capacitores requeridos depende del factor de potencia sin corrección y del valor deseado de corrección del factor de potencia.

La diferencia esta en que el factor de potencia para un rango específico de capacidad, puede variar entre 5 y 20 puntos. Por lo tanto, es mejor conocer el factor de potencia de los motores que requieren corrección en su factor de potencia.

Los métodos de selección de capacitores sin carga, son conservadores e incrementan el factor de potencia a 95% o más. Entre más grande sea la capacidad del motor, es más fácil corregir el 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.

Si los capacitores son conectados en el lado de las protecciones térmicas del motor, será necesario cambiar las protecciones, para conservar la protección propia del motor.

Los voltajes 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 el arrancador del motor.

## 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, etc.

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 señal senoidal limpia.

Los filtros pueden clasificarse en:

1. Filtros antirresonantes.
2. Filtros sintonizados.

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

1. Compensación de la potencia reactiva a la frecuencia fundamental para un factor de potencia específico.
2. Disminuyen el porcentaje de distorsión armónica total.
3. Evitan fenómenos de resonancia, que surgirían al conectar capacitores sin protección contra armónicas.
4. Disminución de pérdidas activas, en cables y aparatos electromagnéticos por reducción de la distorsión armónica total.

- Elección del dispositivo mas adecuado

El primer aspecto a tener en cuenta, será cual es el objetivo que se pretende, mediante la incorporación de un dispositivo de corrección del 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:

1. Orden de armónica.
2. Valor máximo de corrientes armónicas a filtrar.
3. Valor máximo de tensiones armónicas a filtrar.

## 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.

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. 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 reconexión y desconexión manual.

## 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 el voltaje de línea. Estos balastos, utilizan elementos semiconductores.

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

## 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. Si utilizáramos estas, estaríamos ahorrando aproximadamente un 35 % del consumo de energía eléctrica correspondiente a alumbrado; Además, el tiempo de vida útil de estas, es de más del doble. Asimismo, el flujo luminoso es mayor, por lo que se requiere una menor cantidad de ellas.

## CONCLUSIONES

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, etc.; la Coordinación de Electromecánica, 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 voltaje, 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 Eficiencias en Sistemas de Bombeo, de acuerdo a Normas, recomendaciones de fabricante e indicaciones de la Comisión Nacional del Agua.

Existen otros sistemas con tecnologías de punta que no se indican en el documento, por ser un tanto sofisticados para la operación de algunos sistemas, pero que coadyuvan al ahorro y uso eficiencia de la energía eléctrica como lo son los de telegestión hidráulica, radio telemetría, etc. de los cuales la Coordinación de Electromecánica, estará atenta para comentar su aplicación si así fuera necesario.

Estamos convencidos de que aplicando los conceptos vertidos en las instalaciones de los Organismos Operadores, podremos lograr ahorrar energía eléctrica y hacer eficiente su uso; asimismo, lograr incrementar la vida útil de las instalaciones electromecánicas de los Sistemas Hidráulicos.

## NOTA:

Para mayor abundamiento de los conceptos vertidos en este artículo, se recomienda consultar a la Coordinación de Electromecánica.

## COMENTARIOS Y/O SUGERENCIAS

Para cualquier aportación o comentario sobre el artículo agradeceremos se nos haga llegar a:

*Coordinación de Electromecánica.*

[luis.lopez@cna.gob.mx](mailto:luis.lopez@cna.gob.mx)

## CRÉDITOS

<b>CNA</b>	Comisión Nacional del Agua.
<b>PAESE</b>	Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico.
<b>NOM</b>	Normas Oficiales Mexicanas.
<b>John C. Andreas</b>	Energy Efficient Electric Motors, Marcel Dekker, Inc, 1992, USA.
<b>FIDE</b>	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.
<b>LSPEE</b>	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
<b>CFE</b>	Comisión Federal de Electricidad.
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>NEMA</b>	National Electrical Manufacturers Association.

## GLOSARIO

### **Bomba**

Máquina hidráulica que convierte la energía mecánica en energía de presión transferida al agua.

### **Carga**

Es la cantidad de energía mecánica que requiere la bomba para mover el agua desde el nivel dinámico hasta el punto final del sistema.

### **Demanda**

Es el resultado de aplicar la tarifa correspondiente a cada kW de demanda máxima medida.

### **Demanda máxima medida**

Indica la demanda medida en kW durante cualquier intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en el período de facturación.

### **Eficiencia**

La razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada del motor. Se expresa en por ciento.

### **Eficiencia nominal**

Es el valor de la eficiencia mostrado en la placa de datos del motor. Este valor no debe ser mayor que la eficiencia promedio de una población grande de motores del mismo diseño.

### **Frecuencia**

Es el número de veces que se repite un mismo valor en una unidad de tiempo. También es el número de vueltas o ciclos que da un faser en la unidad de tiempo. La frecuencia se mide en Hz.

### **Motor eléctrico**

Máquina para convertir energía eléctrica en energía mecánica.

### **Motor de inducción**

Es un motor eléctrico en el cual solamente una parte, el rotor o el estator, se conecta a la fuente de energía y la otra trabaja por inducción electromagnética.

### **Operación en vacío**

Es la operación cuando el motor es desacoplado del dinamómetro y se opera en vacío a su tensión eléctrica en las terminales del motor y frecuencia eléctrica nominales, hasta que la potencia de entrada varíe no más de 13 % en un lapso de 30 minutos.

### **Pérdidas por efecto Joule**

Son las debidas a la circulación de corriente eléctrica por los conductores del estator y rotor, se manifiestan en forma de calor.

### **Pérdidas por fricción y ventilación**

Son las debidas a la oposición que presentan los dispositivos tales como ventiladores y rodamientos al movimiento mecánico.

### **Pérdidas en el núcleo**

Son las debidas a las alteraciones de campo magnético en el material activo del estator y el rotor por efectos de histéresis y corrientes parásitas.

### **Pérdidas totales**

Es la diferencia de la potencia de entrada y la potencia de salida del motor.

### **Potencia de entrada**

Es la potencia eléctrica que el motor toma de la línea.

### **Potencia de entrada al motor ( $P_e$ ).**

Es la potencia que requiere el motor eléctrico acoplado a la bomba.

### **Potencia de salida.**

Es la potencia mecánica disponible en el eje del motor.

### **Potencia nominal**

Es la potencia de salida indicada en la placa de datos del motor.

### **Potencia reactiva**

Es la diferencia cuadrática entre la potencia activa y la potencia aparente ( $\cos \phi$ ), necesaria para establecer campos magnéticos que necesitan algunas máquinas como los motores o los transformadores, No produce potencia útil alguna.

### **Tensión eléctrica nominal (V)**

Es el valor asignado a un sistema, un equipo o cualquier otro elemento, al cual se refieren ciertas características de operación.

### **Corriente eléctrica (A)**

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. Su unidad práctica es el Ampere.