



UNAM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES.**

**“ARAGÓN”.**

**“AHORRO DE ENERGÍA Y SUS PRINCIPALES APLICACIONES”.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA.**

PRESENTA:

**ISRAEL HERNÁNDEZ MORALES.**

DIRECTOR DE TESIS:

**ING. NOÉ GONZÁLEZ ROSAS.**

**SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO.**

**2006.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS:

Para poder realizar esta tesis de la mejor manera posible fue necesario el apoyo de muchas personas a las cuales quiero agradecer.

- A mis padres por su comprensión, apoyo y amor.
- A mis hermanos(as) y amigos por su apoyo incondicional.
- A mis profesores y compañeros que sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo.
- A mi asesor Ing. Noe González Rosas que me apoyo al 100% en la realización y conclusión de está tesis.

## ÍNDICE.

Introducción	2
Objetivo General	4
Objetivos Particulares	4
CAPÍTULO I.- GENERALIDADES SOBRE EL AHORRO DE ENERGÍA	5
I.1.- Introducción	5
I.2.- Rendimiento de la Energía	5
I.3.- Factores que mejoran el Rendimiento	6
I.4.- Contaminación Medio Ambiental	6
I.5.- ¿Cómo lograr ésta Reducción?	8
I.6.- Ahorro de Energía y Efecto Invernadero	8
I.7.- Métodos para un Ahorro de Energía Eficaz	9
I.8.- Sector de Edificios Domésticos y Comerciales	9
I.9.- Sector Industrial	9
I.10.- Generación de Electricidad	10
I.11.- Transporte	10
I.12.- Políticas Energéticas	10
CAPÍTULO II.- AHORRO DE ENERGÍA EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS	11
II.1.- Introducción	11
II.2.- Definiciones Básicas	11
II.3.- Requisitos Técnicos de carácter General	13
II.4.- Diseño de Instalaciones	13
II.5.- Programa de Mantenimiento	14
II.6.- Diseño y Protección de Instalaciones Eléctricas	15
II.6.1.- Alimentadores y Circuitos Derivados	15
II.6.1.1.- Optimización del uso de la Energía	15
II.6.1.2.- Ahorro de Energía en Alimentadores y Circuitos Derivados	15
II.6.1.3.- Calibre de los Conductores	15
II.6.1.4.- Instalaciones de Conductores	15
II.6.1.5.- Demanda Máxima	15
II.6.1.6.- Nivel de Tensión	15
II.6.1.7.- Regulación de Tensión	16
II.6.1.8.- Protección	16
II.6.1.9.- Armónicas	16
II.6.1.10.- Equipo Diverso	16
II.7.- Puesta a Tierra	16
II.7.1.- Aplicación	16
II.8.- Dispositivos y Equipos de Control para el Ahorro de Energía	16
II.8.1.- Características	16
II.8.2.- Control de Equipo Eléctrico en la Industria y el Comercio	17
II.8.3.- Control de Iluminación	17
II.8.4.- Control de Aire Acondicionado y Ventilación	17
II.8.5.- Limitación y Control de la Demanda	17
II.8.6.- Otros Usos	17
II.8.7.- Tipos	17
II.8.8.- Aplicaciones de Dispositivos de Control para el Ahorro de Energía	18
II.9.- Equipo Eléctrico Diverso	19
II.9.1.- Equipo de Alumbrado y Contactos	19
II.9.1.1.- Aplicación	19
II.9.1.2.- Tipos de Lámparas	19
II.9.1.3.- Material de Contactos de Clavijas	19

II.10.- Motores	19
II.10.1.- Selección de Motores	19
II.10.2.- Arranque de Motores	19
II.10.3.- Control de Velocidad	19
II.10.4.- Operación de Motores	19
II.10.5.- Compensación de Potencia Reactiva	20
II.10.6.- Inercia de Partes Giratorias	20
II.10.7.- Motores Trifásicos	20
II.10.8.- Motores Síncronos	20
II.10.9.- Calentamiento de Motores	20
II.10.10.- Locales con Motores	20
II.10.11.- Transmisiones Mecánicas	20
II.10.12.- Acoplamiento de Motores	20
II.10.13.- Alineación de Motor	20
II.10.14.- Conexión de Motores	21
II.10.15.- Datos de Motores	21
II.11.- Factor de Potencia	21
II.11.1.- Aplicación	21
II.11.2.- Identificación	21
II.11.3.- Métodos	21
II.11.4.- Valores del Factor Potencia	21
II.11.5.- Ubicación de Capacitores	21
II.11.6.- Disminución de Pérdidas por "Efecto Joule" al Corregir el Factor Potencia	22
II.12.- Subestaciones	22
II.12.1.- Requisitos Generales	22
II.12.1.1.- Instalación y Mantenimiento del Equipo Eléctrico	22
II.12.2.- Locales para Subestaciones	22
II.12.2.1.- Instalación de Alumbrado	22
II.12.3.- Instalaciones de Equipo Eléctrico Específico en Subestaciones	23
II.12.3.1.- Transformadores de Corriente	23
II.12.3.2.- Instalación de Transformadores de Potencia	24
II.13.- Iluminación	24
II.13.1.- División de Locales	24
II.13.2.- Disposición y color de Mobiliario	24
II.13.3.- Reflectancias del Local	25
II.13.4.- Áreas Iluminadas	25
II.13.5.- Tensión de Operación	25
II.13.6.- Luz Natural	25
II.13.7.- Iluminación Localizada	25
II.13.8.- Iluminación General	25
II.13.9.- Utilización por tipo de Lámpara	25
II.13.10.- Iluminación de Anuncios	25
II.13.11.- Altura de Montaje de la Lámpara Fluorescente	25
II.13.12.- Niveles de Iluminación	25
II.13.13.- Dispositivos Ahorradores de Energía en Iluminación	26
II.13.14.- Selección del Equipo	26
II.13.15.- Factores de Pérdida de Luz	27
II.13.16.- Consideración de Diseño	27
II.13.17.- Información Fotométrica	28
II.13.18.- Balastros	28
II.13.18.1.- Conexión a Tierra	28
II.13.18.2.- Temperatura de Operación	28
II.13.18.3.- Balastros Termoprotectidos	28
II.13.18.4.- Compatibilidad	28
II.13.18.5.- Sistemas de Encendido	28
II.13.18.6.- Tipos de Balastros	29

II.14.- Luminarias	29
II.14.1.- Conexión a Tierra	29
II.14.2.- Control Térmico	29
II.14.3.- Luminaria Eficiente	29
CAPÍTULO III .- AHORRO DE ENERGÍA EN INSTALACIONES DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL	31
III.1.- Introducción	31
III.2.- Objetivo	31
III.3.- Métodos de Refrigeración Industrial	31
III.4.- Controles	33
III.5.- Dispositivos Ahorradores de Energía Eléctrica	34
III.6.- Recomendaciones a considerar en la Instalación	35
III.7.- Carga Térmica	35
III.8.- Cómo controlar la Demanda para lograr un Ahorro Energético	36
III.9.- Operación de Sistemas de Refrigeración para Ahorrar Energía	36
III.10.- Para Ahorrar Energía: El Mantenimiento que debe darse al Sistema de Refrigeración	37
III.11.- Oportunidades de Ahorro de Energía Eléctrica	38
CAPÍTULO IV.- AHORRO DE ENERGÍA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS	39
IV.1.- Objetivos	39
IV.2.- ¿Cuál es el Consumo por Bombeo?	39
IV.3.- Potencial de Ahorro	40
IV.4.- Aplicaciones Generales de Bombas Centrífugas	40
IV.5.- Conceptos y Definiciones	40
IV.6.- Cómo se comporta una Bomba Centrífuga	42
IV.7.- Comportamiento de las Bombas Centrífugas	42
IV.8.- Cómo Influyen las características del Líquido en la Eficiencia	43
IV.9.- Relaciones de Afinidad en Bombas	44
IV.10.- Curvas Características. Tipos de Bomba y Efecto de Viscosidad	45
IV.11.- Resistencia del Sistema	47
IV.12.- ¿De qué Eficiencia se Trata?	47
IV.13.- Identificar las Fuentes de Pérdida (factores que afectan la eficiencia)	49
IV.14.- Modificación de características de Operación Originales para incrementar la eficiencia	54
IV.15.- Identificar las Áreas de Oportunidad	54
IV.16.- ¿Se carece de información Técnica sobre el Equipo de Bombeo?	54
IV.17.- Es conveniente monitorear	55
IV.18.- ¿Nueva Instalación? ¿Equipos Existentes?	55
IV.19.- ¿Cuánta energía proporciona el Equipo de Bombeo?	56
CAPÍTULO V.- AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS	58
V.1.- Introducción	58
V.2.- ¿Qué es la eficiencia en un motor?	58
V.3.- El cuidado con las reparaciones	59
V.4.- Motores Eléctricos y el Factor de Potencia	59
V.5.- Administración de la Demanda	60
V.6.- Un ejemplo de Área de oportunidad	60
V.7.- Motivar al personal de la Organización a Ahorrar Energía	60
V.8.- Recomendaciones Generales	61
CONCLUSIONES	65
ANEXO: GLOSARIO DE TÉRMINOS SOBRE AHORRO DE ENERGÍA	67
BIBLIOGRAFÍA	69
INDICE	70

## INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, y dada la fuerte dependencia del exterior que tiene México en cuanto a consumo energético, los sucesivos gobiernos del país, han ido aprobando leyes y decretos, que como objetivo principal, han servido para incentivar el Ahorro de Energía de aquellos usuarios que son consumidores potenciales.

Haciendo un poco de historia, se indica que en Marzo de 1995 la revista *European Power Notes*, publicó un artículo titulado "*Energy Revolution in Spreading*", en el que los autores expresan cuáles serán las futuras tendencias para la demanda y el uso de la energía, indicando los más importantes cambios que se avecinan. De ellos, se ofrecen los puntos más importantes:

- ❖ En los próximos 15 ó 20 años, gran parte de la electricidad será generada por equipos situados en los propios edificios o centros comerciales (autogeneración y cogeneración, incluso trigeneración), y no en las poco eficientes plantas de producción actuales (plantas generadoras o centrales eléctricas).
- ❖ Los avances en el diseño y materiales han reducido drásticamente los consumos de energía en algunos edificios y complejos hasta en un 90% con respecto a lo que se consumía en 1970.
- ❖ El mundo está en una etapa de búsqueda de la mayor rentabilidad en todos los procesos energéticos, optimizando en todo lo posible, los recursos disponibles.

Estas tendencias y cambios, más otros que están emergiendo ahora, pueden facilitar el camino hacia el empleo eficiente y sostenible de la Energía. No obstante, y hasta que llegue ese momento, habrá que ir adoptando medidas técnicas, entre las que hay que considerar:

- Ahorro de Energía y recuperación de calor.
- Centralización de producción de frío y calor.
- El mayor empleo de máquinas de absorción.
- Evitar el uso de energía eléctrica (como fuente única).
- Empleo de motores térmicos.
- Empleo de sistemas de cogeneración y trigeneración (autoproducción eléctrica).
- Regulación completa de zonas a climatizar (frío/calor).
- Sistemas pasivos en edificios.

Una familia típica estadounidense gasta cerca de \$1,300 USD al año en consumo de energía; mientras que, una familia europea gasta en promedio 1,000 € en ese mismo periodo de tiempo. Desgraciadamente, se desperdicia una gran cantidad de esa energía. Cada año se desperdicia a través de ventanas y puertas mal instaladas una cantidad de energía equivalente a la cantidad de energía que se recibe del oleoducto de Alaska. Así mismo, para generar la electricidad a partir de combustibles fósiles que se necesita para una sola casa, se arroja al aire circundante más dióxido de carbono que dos vehículos convencionales. Si cada consumidor, toma algunas medidas de bajo costo para aumentar la eficiencia energética en su hogar, puede reducir los gastos de energía entre un 10 y 50%, a la vez que contribuye a reducir la contaminación del aire.

La clave para lograr estos ahorros radica en elaborar un plan de eficiencia energética global para el hogar. Para abordar este criterio, se debe visualizar una cada como un sistema energético formado por parte independientes. Por ejemplo, el sistema de calefacción no es simplemente una caldera, sino un sistema de suministro de calor que comienza en la caldera y distribuye el calor por toda la casa a través de un sistema de conductos. Aunque en una casa se tenga la mejor y más moderna caldera en cuanto a eficiencia energética, si los conductos dejan pasar aire y no están aislados, y además las paredes, el ático, las ventanas y las puertas de la casa tampoco cuentan con aislamiento, se seguirá recibiendo facturas energéticas altas. Si se sigue un Plan de Ahorro de Energía Global para toda la casa, se gastará dinero para aumentar la eficiencia energética sabiendo que se trata de una inversión inteligente.

Las mejoras en la eficiencia energética, no solamente convierten el hogar en un lugar más cómodo; sino que producen un beneficio económico a largo plazo. El costo de las mejoras en la eficiencia energética del hogar o de un electrodoméstico eficiente en cuanto al consumo de energía, que puede ser más caro, se puede recuperar a través de un menor costo de operación. A veces, cuando se hace este tipo de mejora es posible obtener un préstamo hipotecario especial por eficiencia energética, para el cual el organismo crediticio puede utilizar un coeficiente deuda-ingreso más alto de lo normal para calcular las condiciones del préstamo. Además, es incluso probable, que aumente el valor de reventa de dicha casa-habitación.



### **OBJETIVO GENERAL.**

***Establecer los Fundamentos de Ahorro de Energía, así como sus principales Aplicaciones en el ámbito Industrial.***

### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

- 1.- Establecer los Conceptos Generales sobre Ahorro de Energía.
- 2.- Establecer los Conceptos Generales sobre Ahorro de Energía en Instalaciones Eléctricas Generales..
- 3.- Establecer los Conceptos Generales sobre Ahorro de Energía en Instalaciones de Refrigeración Industrial..
- 4.- Establecer los Conceptos Generales sobre Ahorro de Energía en la Instalación de Bombas Centrífugas.
- 5.- Establecer los Conceptos Generales sobre Ahorro de Energía en Instalaciones de Motores Eléctricos.

## CAPÍTULO I.

### **GENERALIDADES SOBRE AHORRO DE ENERGÍA.**

#### 1.1.- Introducción.

Esfuerzo por reducir la cantidad de energía para usos industriales y domésticos, en especial en el mundo desarrollado.

En otros tiempos, la energía disponible en relación a la demanda de consumo humano era abundante. La madera y el carbón vegetal eran el principal combustible hasta la aparición, en el siglo XVIII, del combustible de carbón mineral con la **Revolución Industrial**. Todavía hoy la madera constituye el 13% de la energía mundial, y la mayor parte se quema de modo poco eficaz para cocinar y calentar los hogares en los países menos desarrollados. Un típico aldeano de la India gasta cinco veces más energía que un europeo para preparar la cena sobre el fuego o utilizando la madera para quemar. La consecuencia de ello es que la madera como combustible está empezando a escasear en África y el Sureste asiático.

En Europa, y en particular en Gran Bretaña, los suministros de madera empezaron a disminuir en la mitad del siglo XVIII, pero el carbón disponible iba aumentando. El carbón se utilizaba para usos domésticos y para las máquinas de vapor necesarias para bombear el agua de las minas de carbón y, de este modo, aumentar la producción de este valioso combustible. La máquina de vapor de caldera de carbón también hizo posible el transporte por ferrocarril, con el invento de la locomotora, que resultó una forma de propulsión más segura y eficaz que muchas otras. No es necesario recalcar la gran eficacia de este invento; la conversión de la energía química del carbón en energía mecánica de la máquina alcanzaba un rendimiento inferior al 1%.

#### 1.2.- Rendimiento de la Energía.

Los esfuerzos de los ingenieros para mejorar el rendimiento de las máquinas llevaron al físico e ingeniero militar francés **Nicolas L. S. Carnot** a la formulación de las leyes de la **Termodinámica** en 1824. Éstas son leyes basadas en la experiencia pero con una importante base teórica, y son fundamentales para incrementar el rendimiento del uso que hacemos de las cada día más escasas reservas de energía de combustibles fósiles. El descubrimiento de que la energía no se crea ni se destruye debería disuadir a los inventores de máquinas de movimiento perpetuo, pero la segunda ley de la termodinámica supone un límite más complejo al rendimiento de cualquier motor de calor, ya sea una turbina o el motor de un automóvil.

Por ejemplo, si en una turbina de vapor la temperatura del vapor de admisión tiene un valor  $T_{\text{caliente}}$ , y la temperatura de salida de la turbina a la que ha hecho girar tiene un valor  $T_{\text{frío}}$ , el rendimiento de la conversión teóricamente posible de la máquina sería muy simple:

$$\varepsilon = \frac{T_{\text{caliente}} - T_{\text{frío}}}{T_{\text{caliente}}}$$

donde  $T$  se mide en ( $^{\circ}\text{K}$ ).

Por esta razón, en la práctica, el rendimiento de la conversión de las grandes centrales eléctricas de vapor que funcionan con carbón o petróleo es de menos del 40%, y el de los motores de gasolina de automóviles es de menos del 20%. El resto de la energía se disipa en forma de calor, aunque en el caso de los motores de automóviles dicho calor se puede emplear para la calefacción de la cabina.

El bajo rendimiento con el que generamos nuestra energía o propulsamos nuestros automóviles, una consecuencia de las leyes físicas más que de la negligencia, hace pensar que los futuros adelantos en el rendimiento de la energía serán el resultado tanto de nuevos avances tecnológicos como de la reducción consciente del consumo de energía.

### 1.3.- Factores que Mejoran el Rendimiento.

Todo el sistema energético del mundo desarrollado se vio seriamente afectado en 1973, cuando los productores de petróleo árabes, en respuesta a las presiones de la Guerra del Yom Kippur, cuadruplicaron el precio del petróleo hasta alcanzar los 12 dólares por barril, y redujeron en un 5% el suministro a los grandes importadores de petróleo como la Comunidad Europea y Estados Unidos (como medida de presión para que retiraran su apoyo a Israel). Más tarde, en 1979, los precios subieron aún más, y en 1980 se pagaban 40 dólares por barril.

La Comunidad Europea reaccionó poniendo en práctica una política conocida en inglés como *CoCoNuke*, iniciales de carbón, conservación y nuclear. Se dio prioridad a la reducción del consumo de combustibles, en especial del petróleo. Estimulada por el aumento de los precios, la gente comenzó a ahorrar energía y utilizarla de un modo más económico, consiguiéndose a lo largo de la década de 1980 un espectacular avance en el rendimiento de la energía. Al deshacerse el cártel árabe y bajar los precios del petróleo, llegando en algunos casos a menos de diez dólares por barril, han aparecido nuevas razones para el rendimiento de la energía: motivos medioambientales, de contaminación y en especial de calentamiento global.

### 1.4.- Contaminación Medioambiental.

El químico sueco Svante A. Arrhenius ya descubrió en 1896 que el equilibrio radiactivo de la Tierra dependía en gran medida de la capa protectora de dióxido de carbono. Durante 150.000 años el contenido de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera se ha mantenido en un valor constante de unas 270 partes por millón (ppm). El dióxido de carbono atrapa los rayos infrarrojos que salen de la Tierra y es el responsable de que la temperatura de la superficie terrestre sea unos 31 grados más cálida que si no existiera. Esto ha tenido un efecto crucial en el desarrollo de la vida misma, ya que sin este efecto invernadero natural, la mayoría del agua terrestre sería hielo.

Sin embargo, el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera se ha incrementado desde 1850 hasta alcanzar 360 ppm. El mayor motivo de este aumento es el incremento progresivo de la combustión de carbón, petróleo y gas para obtener la energía necesaria a fin de mantener nuestro estilo de vida. Los habitantes del oeste de Europa gastan tres toneladas de petróleo, o su equivalente en gas o carbón, por persona y año, mientras que en Estados Unidos el gasto es de ocho toneladas por persona y año. En el mundo se consumen 8.000 millones de toneladas de petróleo u otros combustibles fósiles al año, y se espera que en el año 2020 el consumo alcance los 14.000 millones de toneladas anuales. Gran parte de este aumento de la demanda proviene del mundo en vías de desarrollo.

En China se queman 1.000 millones de toneladas de carbón y se calcula que en cinco años esta cifra se incrementará a 1.500 millones de toneladas, ya que su economía está creciendo a un ritmo del 10% anual. (Como media, en un país en vías de desarrollo un crecimiento anual del 1% viene a suponer un incremento en el consumo de energía del 1,5%.) El rápido aumento de la población de los países en vías de desarrollo acentúa el problema.

Las Naciones Unidas estiman que en el año 2040 el crecimiento será de 10.000 millones de personas de las que 8.000 millones pertenecerán a países en vías de desarrollo, muchos de ellos con economías en fuerte expansión, con lo que su demanda de energía aumentará de forma considerable.

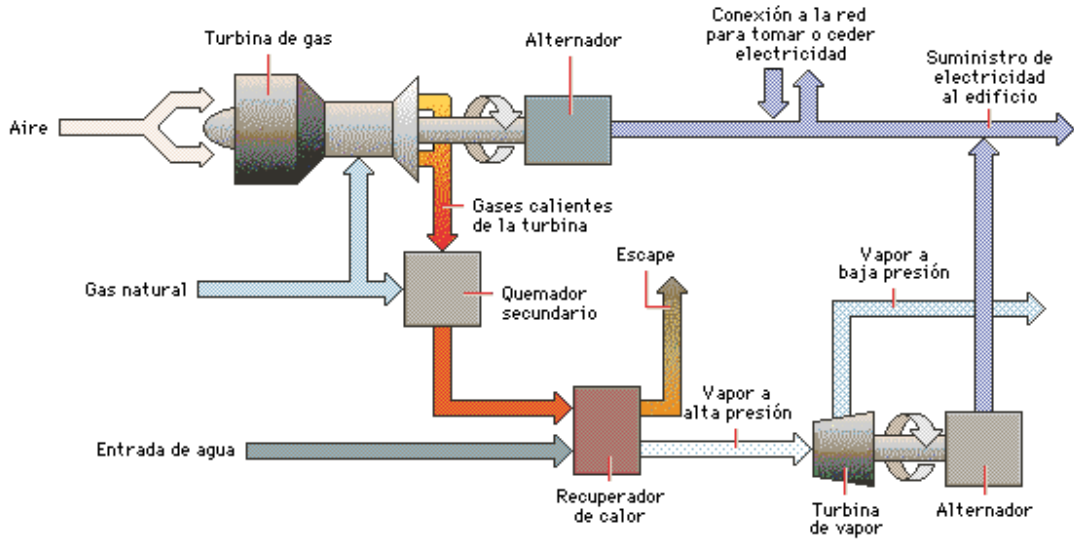
El efecto de la quema masiva de combustibles fósiles es el aumento de la cantidad de dióxido de carbono. Su concentración en el aire habrá duplicado en el año 2030 los valores medios del siglo XIX, que se situaban en 270 ppm, lo que provocará el aumento en 2º C de la temperatura de la superficie terrestre así como una subida de unos 4 cm del nivel del mar, según las estimaciones de la Conferencia Intergubernamental sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas.

Las posibles consecuencias del calentamiento global son impredecibles a largo plazo y han provocado la alarma en todo el mundo. La posibilidad de ver masas de agua inundando los países ribereños y cambios en el clima provocando el aumento de las lluvias en partes del hemisferio norte, así como la extensión de la desertización en algunas regiones ecuatoriales en las próximas décadas resulta inquietante.

En Mayo de 1992, 154 países (incluidos los de la Unión Europea) firmaron el Tratado de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (ratificado en marzo de 1994). Los países signatarios se comprometieron a estabilizar, para el final de siglo, los niveles de las emisiones de dióxido de carbono en los valores de 1990.

Los científicos participantes de la Conferencia Intergubernamental sobre el Cambio Climático, encargados de vigilar e investigar el fenómeno del calentamiento, advirtieron que con las propuestas de reducción aprobadas difícilmente se logrará evitar los posibles daños futuros que puede causar el cambio en el clima. La estabilización del nivel de las emisiones de dióxido de carbono va a requerir una considerable voluntad política. El Consejo Mundial de la Energía afirma que para alcanzar la pretendida estabilización sería necesaria una reducción de al menos un 60% de las emisiones anuales de dióxido de carbono a partir de ahora.

1.5.- ¿Cómo lograr esta Reducción?  
Cogeneración de Energía.



Los sistemas de cogeneración reciclan la energía perdida en el proceso primario de generación (en este caso, una turbina de gas) en un proceso secundario. La energía restante se emplea —en este caso en forma de vapor— directamente en las cercanías de la central (por ejemplo, para calentar edificios), lo que aumenta aún más la eficiencia global del sistema.

Figura I.1.- Cogenerador de Energía.

1.6.- Ahorro de Energía y Efecto Invernadero.

Hay diversos métodos pero el más efectivo es quemar menos combustibles fósiles y en especial, combustibles ricos en carbono como el carbón y el petróleo. Estos combustibles también tienen un alto contenido de azufre, que junto con nitrógeno dan lugar a emisiones de carácter ácido y causan la lluvia ácida. De ello se desprende que la protección del medio ambiente es hoy el mayor incentivo para el Ahorro de Energía. A largo plazo, también es importante el agotamiento de los recursos de combustibles fósiles, no renovables. Al ritmo de consumo actual se calcula que las reservas de petróleo y gas natural durarán unos cincuenta años y las de carbón unos doscientos años.

La demanda creciente de combustibles fósiles y los daños por la contaminación derivados de su utilización han motivado llamadas de atención para ir avanzando hacia un desarrollo sostenible, un concepto que apoyan políticos de muchos países. La enorme dificultad para conseguir esta meta ha sido menospreciada a menudo. El Consejo Mundial de la Energía estima que las fuentes de energías renovables sólo podrán aportar un 30% de la demanda mundial en el año 2020 (aunque la cifra podría llegar a un 60% para el año 2100).

Por esta razón, la Unión Europea ha llevado a cabo numerosas iniciativas para estimular el Ahorro de Energía, estimando posible lograr un ahorro del 20%. El Consejo Mundial de la Energía ha aconsejado una reducción de la intensidad de la energía para el futuro en distintas zonas, teniendo en cuenta la cantidad de energía necesaria para producir una unidad del Producto Interno Bruto (PIB). En un informe de 1993, el Consejo Mundial de la Energía publicó sus estimaciones para un uso eficaz de la energía, situándolo en un 3 o 3,5% para los países medios, un 4-5% para Europa occidental y Japón, y sólo un 2% para Estados Unidos.

#### 1.7.- Métodos para un Ahorro de Energía Eficaz.

El Ahorro de Energía mediante el aumento de la eficacia en su manipulado se puede lograr, por lo que respecta a la parte del suministro, a través de avances tecnológicos en la producción de electricidad, mejora de los procesos en las refinerías y otros. En cambio, por lo que respecta a la parte de la demanda (la energía empleada para calefacción de edificios, aparatos eléctricos, iluminación...), se ha descuidado en relación con la parte del suministro, existiendo un margen amplio para su mejora. En Europa occidental el 40% del consumo final de energía se destina al sector doméstico, un 25% a la industria y un 30% al transporte

#### 1.8.- Sector de Edificios Domésticos y Comerciales.

Más o menos la mitad de la energía consumida en Europa occidental se destina a edificios. Con la tecnología moderna para Ahorro de Energía, el consumo se puede llegar a reducir un 20% en un periodo de cinco años. Se debe estimular la construcción de diseños con buen aislamiento, el uso eficaz de la energía en la iluminación, la Instalación de sistemas de control de energía y la de aparatos modernos y eficaces para calefacción, aire acondicionado, cocinas y refrigeración. Las etiquetas en los aparatos con información sobre la eficacia de su funcionamiento ayudan a elegir el sistema más adecuado.

Los progresos en el sector doméstico son lentos al mejorar las técnicas de Ahorro de Energía en el periodo de construcción. Se debe alentar la Instalación de sistemas eficaces de iluminación y aislamiento. Cada vez tienen lugar más renovaciones de edificios comerciales e industriales que deberían incluir medidas de Ahorro de Energía.

#### 1.9.- Sector Industrial.

El ahorro de electricidad se puede conseguir mediante sistemas avanzados de control de potencia, la Instalación de motores eléctricos modernos para ventiladores, bombas, mecanismos de transmisión..., y la Instalación de equipos de iluminación de alta eficacia; se debe evitar la penalización que supone el uso de energía en momentos de máximo coste, utilizando las tarifas reducidas para ahorrar dinero (aunque no necesariamente energía).

El rendimiento de las calderas y hornos se puede mejorar en gran medida mediante un ajuste y control cuidadosos de los niveles de combustión de aire en exceso. La recuperación del calor desechado a través de intercambiadores, bombas de calor y ruedas térmicas es un buen método para mejorar el ahorro energético. Las innovaciones en los sistemas de vapor y condensación pueden aportar también un ahorro sustancial.

La conservación de la energía sólo se puede conseguir si se introduce un plan de gestión de la energía con un seguimiento riguroso y metas de progreso. La motivación de la mano de obra es esencial y sólo es posible si existe un compromiso abierto al más alto nivel. La mejora en la conservación de la energía es un problema tanto psicológico como técnico y financiero.

### I.10.- Generación de Electricidad.

El rendimiento en la generación de electricidad depende en última instancia de las leyes de la termodinámica. Al incrementar la temperatura de entrada en las turbinas de gas mediante la introducción de nuevos materiales y técnicas de diseño, el rendimiento de las últimas turbinas se ha incrementado en un 42%. Si el gas caliente de salida se usa para aumentar el vapor a fin de alimentar una turbina de vapor, se forma un llamado ciclo combinado, con un rendimiento generalizado de la conversión del calor en electricidad de cerca del 60%. Las plantas de ciclo combinado que funcionan con gas están sustituyendo con rapidez a las de carbón y petróleo en todo el mundo. Un incentivo para su construcción es el menor impacto medioambiental y la reducción de la emisión de dióxido de carbono que suponen.

Un modo aún más eficaz de utilizar la energía de combustibles fósiles primarios es la construcción de sistemas de Cogeneración o de Energía y Calor Combinados (ECC). En este caso, el calor de salida de la turbina de gas o vapor e incluso de los motores diesel se emplea para alimentar los generadores de electricidad y suministrar vapor y calor a los distintos elementos de la fábrica. Estos sistemas tienen un rendimiento global en el uso de la energía de más del 80% (este sistema se ilustra en el diagrama). Son muchas circunstancias comerciales en las que los sistemas ECC son ideales para el equilibrio electricidad/calor necesario, y su instalación supone un adelanto en costes y Ahorro de Energía.

### I.11.- Transporte.

El transporte es el sector más contaminante de todos, ocasionando más dióxido de carbono que la generación de electricidad o la destrucción de los bosques. En la actualidad hay en el mundo 500 millones de vehículos y en Europa occidental se calcula que su número se duplicará en el año 2020. En los países en desarrollo el crecimiento será incluso más rápido. A pesar de que el rendimiento de los motores de los vehículos se ha mejorado mucho mediante sistemas de control de la ignición y el uso de motores diesel, la tendencia sigue siendo la fabricación de vehículos con prestaciones muy superiores a las que permiten las carreteras. La congestión y la contaminación están estimulando la aparición de movimientos en favor de la tracción eléctrica y de la extensión del transporte público.

### I.12.- Políticas Energéticas.

La desregularización y privatización de los sistemas de suministro de energía, junto con la introducción de políticas energéticas en manos de las leyes del mercado, alientan a los productores a aumentar sus beneficios, vendiendo más y más cantidad de energía y disminuyendo su disposición a la conservación de la misma. El único límite son las leyes sobre contaminación. Por lo que respecta a la demanda, los usuarios parecen reacios a instalar sistemas de Ahorro de Energía, a pesar del ahorro que les supondría durante tres o cuatro años. Un ejemplo son las lámparas de alto rendimiento energético.

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. La presión sobre los recursos limitados de combustible y los niveles crecientes de la población requieren una respuesta urgente.

## CAPÍTULO II.




### **AHORRO DE ENERGÍA EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS.**

#### II.1.- Introducción.

El objetivo de este capítulo, es describir los principales criterios y conceptos para el uso racional de la Energía; así como, proporcionar recomendaciones para la operación y el mantenimiento que permitan a los usuarios obtener ahorros de Energía en las Instalaciones Eléctricas.

De igual forma, la información contenida en este capítulo, se elabora con la finalidad de dar apoyo a los responsables del diseño, construcción, operación y mantenimiento de las Instalaciones Eléctricas para lograr Ahorro de Energía. Es decir; esta información NO es una guía de diseño, sino una descripción práctica de las principales características (cuya aplicación técnico-económica), permita obtener Ahorro de Energía a través del cumplimiento de Normas y Técnicas actualizadas.

Por otra parte, este capítulo, pretende ser un documento de fácil comprensión que describa en forma práctica, las recomendaciones para obtener una Instalación Eléctrica Eficiente con los siguientes beneficios:

-  Tener las bases para aplicar los criterios y conceptos de Ahorro de Energía, con el objetivo de aumentar la eficiencia y reducir los costos de operación y mantenimiento de las Instalaciones Eléctricas.
-  Contar con información que sirva como auxiliar para la selección y compra de equipos y materiales.
-  Obtener Ahorro en el consumo de Energía, o reducción de la demanda eléctrica, y mejorar la Calidad del Servicio.

#### II.2.- Definiciones Básicas.

**Ahorro de Energía.-** Es la reducción del consumo y/o demanda de Energía Eléctrica mediante el uso eficiente y racional de las instalaciones, equipos, dispositivos y materiales que la generan, transmiten, distribuyen y utilizan.

**Equipo y Dispositivos Ahorradores de Energía Eléctrica.-** Equipos y dispositivos utilizados para reducir y optimizar el uso de la Energía Eléctrica.

**Equipo Eléctrico.-** Término general que comprende aparatos, máquinas, dispositivos, etcétera; que se usan en Instalaciones Eléctricas para generación, conversión, transformación o utilización de Energía Eléctrica, incluyendo instrumentos de medición, aditamentos de protección, equipos y dispositivos ahorradores de energía y aparatos accesorios.

**Factor de Potencia, F. P. O Cos  $\theta$ .**-Es la relación que existe entre la Potencia Activa (kW) y la Potencia Aparente Total (kVA), y se puede determinar con la expresión:

$$F. P. = \text{Cos } \theta = \text{kW} / \text{kVA}$$

**Factor de Potencia Adelantado.-** Cuando la intensidad de corriente está adelantada respecto a la tensión, tiene un Factor de Potencia Adelantado. Esto se presenta en un circuito capacitivo.

**Factor de Potencia Atrasado.-** Cuando la intensidad de corriente está atrasada respecto a la tensión, tiene un Factor de Potencia Atrasado. Esto se presenta en un circuito inductivo.



**Potencia Reactiva.-** Ésta, es la potencia necesaria que utilizan entre otros, los aparatos eléctricos que tienen núcleo de hierro para producir un campo magnético, siendo una de las principales causas del bajo Factor de Potencia, que también puede ser calculado a partir de la siguiente expresión:

$$F. P. = kW / \sqrt{(kW)^2 + (kVAR)^2}$$

**Potencia Activa.-** Es la Potencia Real o Activa que un aparato eléctrico transforma en energía mecánica, luminosa, térmica, etcétera.

**Potencia Aparente.-** Es la potencia total a generar y transportar; es el módulo de la suma vectorial de las potencias activa y reactiva. Su valor es:

$$KVA = \sqrt{(kW)^2 + (kVAR)^2}$$

**Alumbrado Exterior.-** Alumbrado que se destina a áreas abiertas, entre las que destacan: estacionamientos, calles, avenidas, patios, fachadas de edificios, monumentos, áreas de material industrial, muelles de carga, obras, campos deportivos, estadios, etcétera.

**Alumbrado Interior.-** Alumbrado de espacios cubiertos, entre los que destacan: salas de espectáculos, naves industriales, centros comerciales, restaurantes, casas-habitación, escuelas, etcétera.

**Lámpara Fluorescente Ahorradora.-** Es una lámpara con un bajo consumo de energía eléctrica y un alto rendimiento luminoso.

**Luminario.-** Es un aparato que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una o varias lámparas, el cual contiene todos los accesorios necesarios para la fijación, protección y conexión al circuito alimentador.

**Flujo Luminoso.-** Es la energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa. Su unidad es el lumen.

$$\Phi = (I)(w) \text{ [lumen]}$$

**Cantidad de Luz.-** Equivale al producto del Flujo Luminoso emitido por la unidad de tiempo, o sea:

$$Q = (\varphi)(t) \text{ [lumen-hora]}$$

**Eficacia o Rendimiento Luminoso.-** Es la relación entre el flujo emitido y la potencia demandada:

$$\eta = (\varphi) / (P) \text{ [Lumen / Watt]}$$

**Intensidad Luminosa.-** Es la densidad de flujo a través de un ángulo sólido en una dirección determinada.

$$I = (\varphi) / (w) \text{ [Candela]}$$

**Iluminancia.-** La Iluminancia de una superficie es la relación entre el flujo luminoso incidente y el área correspondiente:

$$E = (\varphi) / (S) \text{ [lux]}$$

**Luminancia.**- Es la relación entre la Intensidad Luminosa y la Superficie en la dirección determinada:

$$L = (I) / (S) (\text{Cos}(\theta)) [\text{Candela} / \text{m}^2]$$

### II.3.- Requisitos Técnicos de Carácter General.

**Aplicación.**- Esta sección contiene requisitos de carácter general aplicables a las instalaciones para el uso eficiente y racional de la Energía Eléctrica.

#### **Conexión Eléctrica.**

a). Conexión a Terminales.- La conexión de los conductores a terminales (de aparatos o dispositivos) debe asegurar un buen contacto sin dañar a los mismos conductores, ya que independientemente del deterioro que sufren éstos cuando existen conexiones flojas o sueltas, existirá calentamiento en las propias terminales, y por consiguiente, pérdidas de energía. En general, se recomienda emplear zapatas soldadas, de presión o cualquier otro medio que asegure una amplia superficie de contacto. En el caso de conductores de calibre No. 8 AWG (8.37mm<sup>2</sup>) o menor, puede hacerse la conexión mediante un tornillo que sea adecuado para el caso.

b). Empalmes.- Los conductores deben empalmarse o unirse de manera que se asegure una buena conexión mecánica y eléctrica. Se recomienda para ello el uso de dispositivos de unión adecuados, o bien aplicar soldadura sobre los empalmes o uniones y con esto evitar pérdidas de energía por calentamiento.

Cuando se usen accesorios tales como conectores o uniones a presión o conectores terminales para soldar, deben ser apropiados para el material de los conductores que se unen y ser utilizados e instalados adecuadamente. No se recomienda conectar entre sí diferentes conductores de metales (como por ejemplo, cobre y aluminio), amén que el accesorio sea diseñado para el propósito y las condiciones de este uso. Cuando se utilicen soldaduras, fundentes o compuestos, deben ser adecuados para tal uso y de un tipo que no dañe a los conductores o al equipo.

### II.4.- Diseño de Instalaciones.

a). Diseños Amplios.- Dentro de lo posible, se recomienda no limitar el diseño de la Instalación a las condiciones iniciales de la carga, sino considerar un margen razonable de capacidad para tomar el aumento natural que tienen todos los servicios.

b). Centros de Distribución.- Se recomienda localizar los tableros o centros de distribución en lugares fácilmente accesibles, para comodidad y seguridad de funcionamiento, tratando que estos lugares sean también los centros de carga.

c). Limitaciones de Daño por Fallas.- Se recomienda limitar el número de conductores y circuitos alojados en una canalización o cubierta, a fin de minimizar el daño que pueda ocasionar un cortocircuito o una falla de Tierra producido en alguno de ellos.

d). Es recomendable que toda Instalación Eléctrica deba ejecutarse de acuerdo con un plano previamente elaborado; además, cualquier modificación a la Instalación debe anotarse en dicho plano o en otro nuevo. El plano actualizado de la Instalación debe conservarse en poder del propietario del inmueble para fines de mantenimiento. Lo anterior es independiente de que, en cada caso particular, exista o no la obligación de presentar planos de la Instalación en la Secretaría de Economía para su aprobación, según lo establezca la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento.

e). Ahorro de Energía.- En todos los proyectos e instalaciones eléctricas se recomienda aplicar medidas para la utilización de equipos y dispositivos eficientes y ahorradores de energía.

### II.5.- Programa de Mantenimiento.

Se recomienda que toda Instalación Industrial cuente con un programa continuo de inspección y mantenimiento de su Instalación Eléctrica y registre su estadística. En la Tabla II.1, se mencionan algunos de los puntos más importantes que se deben considerar en un buen mantenimiento eléctrico, con la finalidad de obtener una operación eficiente, y con esto, evitar consumos innecesarios de energía.

<b><u>EQUIPO.</u></b>	<b><u>REVISIÓN.</u></b>
Contactos, Conductores y Aislamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>⚡ Presión de Contactos (Falsos contactos).</li> <li>⚡ Arcos entre contactos.</li> <li>⚡ Resistencia de uniones y contactos.</li> <li>⚡ Puntos calientes.</li> <li>⚡ Empalmes de conductores.</li> <li>⚡ Resistencia de aislamiento.</li> <li>⚡ Estado de los aisladores.</li> <li>⚡ Depósito de polvo sobre los conductores, los aisladores y los equipos en general.</li> </ul>
Motores y Transformadores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊖ Resistencia de aislamiento.</li> <li>⊖ Lubricación de rodamientos y partes móviles.</li> <li>⊖ Evaluación de eficiencia de motores con diversas cargas.</li> <li>⊖ Eliminación de polvo y evitar su acumulación.</li> <li>⊖ Sistemas de enfriamiento.</li> <li>⊖ Estado del aceite aislante en los Transformadores.</li> <li>⊖ Estado de los aisladores en los Transformadores.</li> <li>⊖ Dispositivos de protección.</li> </ul>
Alumbrado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>⊕ Niveles de iluminación. Hay que compararlos con los recomendados para las distintas áreas, según la actividad.</li> <li>⊕ Consumo de energía en iluminación.</li> <li>⊕ Eficiencia de lámparas, luminarios y balastos.</li> <li>⊕ Sustitución de lámparas y accesorios.</li> <li>⊕ Limpieza de lámparas, luminarios, reflectores, difusores, pantallas, etcétera.</li> <li>⊕ Limpieza y pintura de paredes y techos.</li> <li>⊕ Limpieza de vidrios de ventanas.</li> <li>⊕ Control de las horas de uso.</li> </ul>

Tabla II.1.- Inspección y Mantenimiento para un Funcionamiento Eficiente en las Instalaciones Eléctricas.

## II.6.- Diseño y Protección de Instalaciones Eléctricas.

### *II.6.1.- Alimentadores y Circuitos Derivados.*

#### *II.6.1.1.- Optimización del uso de la Energía.*

Con el objetivo de reducir pérdidas y hacer un uso más eficiente de la Energía, en toda Instalación se debe hacer un estudio de las trayectorias de alimentadores y circuitos derivados para eliminar recorridos innecesarios.

#### *II.6.1.2.- Ahorro de Energía en Alimentadores y Circuitos Derivados.*

Se recomienda diseñar los alimentadores y circuitos derivados con controladores que puedan ser conectados y desconectados horariamente, por niveles de iluminación, carga, ocupación del local, etcétera.

#### *II.6.1.3.- Calibre de los Conductores.*

a). Los conductores de los circuitos alimentadores deben tener una capacidad de corriente no menor que la correspondiente a la carga por servir.

b). Cuando se seleccione el calibre de un conductor con base en la caída de tensión, se recomienda calcularla utilizando el valor de la impedancia de dicho conductor. Independientemente de lo anterior, el calibre de los conductores alimentadores no debe ser menor que el No. 10 AWG (5.26 mm<sup>2</sup>) en los siguientes casos:

- ⇒ Cuando un alimentador bifilar abastezca a dos o más circuitos derivados bifilares.
- ⇒ Cuando un alimentador trifilar abastezca a tres o más circuitos bifilares.
- ⇒ Cuando un alimentador trifilar abastezca a dos o más circuitos derivados trifilares.

En caso de que se prevean aumentos de carga en un circuito alimentador, debe incrementarse el calibre de los conductores al valor necesario para evitar sobrecargas.

#### *II.6.1.4.- Instalaciones de Conductores.*

En la Instalación de todo tipo de conductores, no se deben hacer dobleces bruscos o innecesarios, ya que éstos pueden producir puntos calientes y fallas de aislamiento y por consiguiente, aumentar el consumo de energía.

#### *II.6.1.5.- Demanda Máxima.*

En toda Instalación, principalmente industrial o comercial, se recomienda mantener la demanda máxima, lo más baja y constante posible, controlando la carga por administración de consumo.

#### *II.6.1.6.- Nivel de Tensión.*

En industrias, comercios, hoteles, hospitales, etcétera; se recomienda elegir y sostener valores nominales de tensión en las instalaciones eléctricas para tener una buena distribución de energía y un uso más eficiente y racional de la misma.

#### *II.6.1.7.- Regulación de Tensión.*

Con el objetivo de optimizar el uso de la energía en toda la Instalación, se recomienda ajustarla lo más posible a los valores nominales en las terminales de la carga. Esto puede lograrse actuando sobre el cambiador de derivaciones de los transformadores, aumentando el calibre de los conductores o por medio de dispositivos de tensión. En el alumbrado, una reducción de tensión, disminuye la intensidad luminosa y una tensión en exceso, reduce la vida útil de las lámparas.

En un motor girando a una tensión reducida, la corriente se incrementa, en tanto que la velocidad, el par y su capacidad de sobrecarga se pueden reducir significativamente. Por otro lado, una sobretensión da lugar a una disminución del factor de potencia, y a un incremento en el par y en la velocidad de operación.

#### *II.6.1.8.- Protección.*

Es recomendable que en toda Instalación eléctrica se disponga de equipos de interrupción contra fallas a Tierra, para desconectar la Instalación o los equipos cuando esta falla se presente.

#### *II.6.1.9.- Armónicas.*

Con el objetivo de lograr un uso óptimo de la energía, particularmente en aquellas instalaciones provistas de equipos eléctricos en sus procesos, se recomienda hacer un estudio de contenido de armónicas.

#### *II.6.1.10.- Equipo Diverso.*

En toda Instalación eléctrica (industrial, comercial, hotelera, de hospital, etcétera), se recomienda utilizar equipo electromecánico (compresoras, bombas, ventiladores, etcétera), de alta eficiencia.

### *II.7.- Puesta a Tierra.*

#### *II.7.1.- Aplicación.*

Con el objetivo de conectar a Tierra un circuito eléctrico, es limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas, a fenómenos transitorios en el propio circuito o a contactos accidentales con líneas de mayor tensión; así, como limitar la tensión a Tierra del circuito durante su operación normal. Una conexión sólida a Tierra, facilita también la operación de los dispositivos de protección contra sobrecorriente, en caso de fallas a Tierra, contribuyendo así al uso eficiente de la Energía Eléctrica.

Las canalizaciones, estructuras y cubiertas metálicas de conductores o equipos (ajenas al circuito eléctrico) deben ser puestas a Tierra con el objetivo de evitar que éstas tengan un potencial mayor que el de Tierra en un momento dado, y representen riesgos a las personas.

### *II.8.- Dispositivos y Equipos de Control para el Ahorro de Energía.*

#### *II.8.1.- Características.*

Los dispositivos y equipos de control para el Ahorro de Energía deben reducir y optimizar el consumo de Energía Eléctrica mediante el control de los circuitos, sin que sean afectados los beneficios obtenidos por su utilización.

### *II.8.2.- Control de Equipo Eléctrico en la Industria y el Comercio.*

En toda industria o comercio en que no operan continuamente todos los equipos eléctricos, se recomienda el uso de equipos y dispositivos de control para conectarlos y desconectarlos automáticamente, de acuerdo con un programa de utilización.

### *II.8.3.- Control de Iluminación.*

Se recomienda utilizar equipos y dispositivos que permitan el control de la iluminación automáticamente en las instalaciones de alumbrado, con base en las necesidades de uso de las diferentes áreas y en función de los niveles de iluminación adecuados a la utilización de esos lugares.

### *II.8.4.- Control de Aire Acondicionado y Ventilación.*

Se recomienda utilizar equipos y dispositivos de control en edificios, que permitan mantener las condiciones de operación y confort requeridas con un mínimo de energía, apagando y encendiendo los sistemas de aire acondicionado y ventilación en forma óptima, considerando las condiciones externas del ambiente, así como las cargas térmicas y los tiempos de calentamiento o enfriamiento de los edificios.

### *II.8.5.- Limitación y Control de la Demanda.*

Se recomienda utilizar equipos y dispositivos de control para vigilar continuamente que la demanda máxima no exceda los valores prefijados por el usuario. Estos equipos y dispositivos encenderán o apagarán equipos predeterminados, dando prioridades para mantener la demanda dentro de los valores previamente fijados.









### *II.8.6.- Otros Usos.*

Se recomienda la utilización de equipos y dispositivos de control, para reducir el consumo sin afectar el servicio a través del paro automático de los equipos que no se requiera operar permanentemente, como son los extractores de aire, los equipos de hidromasaje, equipos deportivos, etcétera.

### *II.8.7.- Tipos.*

Algunos de los dispositivos y equipos de control para el Ahorro de Energía recomendados para circuitos de fuerza y alumbrado son:

#### a). Dispositivos de Control.

-  Sensores de presencia, infrarrojos y de ultrasonido.
-  Foceldas para alumbrado fluorescente con balastro electrónico para regular la intensidad luminosa.
-  Foceldas para control de alumbrado fluorescente (encendida o apagada).
-  Temporizadores.
-  Controles de nivel de iluminación para alumbrado público.
-  Controles de demanda de potencia eléctrica.
-  Controles de velocidad.
-  Controles de consumo de energía (de temperatura y de tiempo).

b). Equipos para el Ahorro de Energía.

- ☀ Lámparas Ahorradoras de Energía.
- ☀ Balastros.
  - ◆ Electrónicos.
  - ◆ Electromagnéticos de bajas pérdidas.
  - ◆ Híbridos.
- ☀ Luminarios con reflectores espectaculares.
- ☀ Motores de alta eficiencia (nueva tecnología).

*II.8.8.- Aplicaciones de Dispositivos de Control para el Ahorro de Energía.*

En la Tabla II.2, se dan las aplicaciones de los dispositivos de control.

<b>DISPOSITIVOS.</b>	<b>APLICACIÓN.</b>
Sensores (Fotoceldas, de Movimiento, etcétera).	Monitorean las condiciones de iluminación, presencia, movimiento, temperatura, etcétera; del área o espacio que cubren, para mantener por medio de controles esas condiciones en los niveles, situaciones o valores deseados. Se pueden utilizar en oficinas, centros, edificios comerciales, industrias, restaurantes, hospitales, escuelas, hoteles, casas-habitación, vías públicas, etcétera.
Controladores de Carga.	Controlan la operación de sistemas de iluminación (interior, exterior, de seguridad y mantenimiento), sistemas de calefacción y aire acondicionado, la administración en el consumo de energía, motores, la demanda máxima, etcétera. Se pueden utilizar en la industria, centros y edificios comerciales, supermercados, hoteles, grandes almacenes, hospitales, edificios de oficinas, centros escolares, etcétera.
Controladores Estáticos para Motores.	Controlan el arranque, la aceleración y la velocidad de motores. Se pueden utilizar en la industria, centros comerciales, edificios de oficina, etcétera.
Atenuadores o Reguladores de Iluminación.	Controlan sistemas de iluminación incandescentes, fluores.

Tabla II.2.- Aplicaciones de Dispositivos de Control para el Ahorro de Energía.

## II.9.- Equipo Eléctrico Diverso.

### *II.9.1.- Equipo de Alumbrado y Contactos.*

#### *II.9.1.1.- Aplicación.*

A continuación se describen los requisitos que se aplican a los luminarios y portalámparas, a las lámparas de filamento incandescente y a otras de descarga eléctrica, al equipo accesorio que forma parte de las instalaciones de alumbrado del tipo residencial, comercial o industrial, así como a los contactos y clavijas.

#### *II.9.1.2.- Tipos de Lámparas.*

En el subtema II.13, se describirá una clasificación detallada de algunos tipos de lámparas recomendadas para el Ahorro de Energía.

#### *II.9.1.3.- Material de Contactos y Clavijas.*

Los contactos y clavijas deben estar manufacturadas con materiales de alta conductividad; como por ejemplo, cobre o latón, para limitar las pérdidas por calentamiento.

## II.10.- Motores.

### *II.10.1.- Selección de Motores.*

Los motores deben ser seleccionados para trabajar lo más próximo al 100% de su capacidad para obtener un máximo rendimiento, y si la carga lo permite se debe preferir motores de alta velocidad, ya que son más eficientes, y cuando se trata de motores de c-a, que trabajen con un óptimo factor de potencia.

#### *II.10.2.- Arranque de Motores.*

Con la intención de disminuir las pérdidas durante la aceleración, se recomienda utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un gran número de arranques. Cuando no se requiera de alto par de arranque, una alternativa es el empleo de arrancadores Estrella-Delta (Y- $\Delta$ ) o de devanado partido.

#### *II.10.3.- Control de Velocidad.*

Se recomienda la utilización de controles de velocidad estáticos, especialmente cuando la carga sea variable y se pueda controlar ajustando la velocidad.

#### *II.10.4.- Operación de Motores.*

En la operación de motores se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos:

- a). Tratar de reducir al mínimo necesario los tiempos de operación.
- b). Evitar el arranque y operación simultánea de motores, sobretodo, los de mayor capacidad.
- c). Evitar el funcionamiento prolongado en vacío.
- d). Alimentar a la frecuencia y tensión nominales.



#### *II.10.5.- Compensación de Potencia Reactiva.*

Se recomienda compensar la energía reactiva demandada por los motores de c-a, principalmente los de mayor capacidad y de mayor número de horas de funcionamiento, siempre que sea posible hacerlo de forma individual.

#### *II.10.6.- Inercia de Partes Giratorias.*

Se recomienda utilizar motores de inercia reducida en aquellos accionamiento que realizan un número elevado de arranques.

#### *II.10.7.- Motores Trifásicos.*

Se recomienda la utilización de motores trifásicos, ya que son más eficientes que los motores monofásicos de una potencia equivalente, y operan con un mejor Factor de Potencia, (f.p.).

#### *II.10.8.- Motores Síncronos.*

Siempre que sea posible, se recomienda el uso de motores síncronos, ya que éstos permiten controlar el Factor de Potencia, (f.p.).

#### *II.10.9.- Calentamiento de Motores.*

Las pérdidas eléctricas en los diversos componentes de un motor, se transforman en calor. Este calentamiento debe mantenerse dentro de los límites tolerados por los materiales y aislantes que lo constituyen. Debido a esto, se recomienda su determinación experimental, haciendo mediciones de temperatura en diferentes puntos del motor y compararlas con las tolerancias de fabricación. Ciertos componentes deben ser objeto de un control más estricto, éstos son:

- 1.- Bobinados aislados.
- 2.- Bobinas sin aislar.
- 3.- Colectores y anillos rozantes.
- 4.- Cojinetes.
- 5.- Paquetes magnéticos.

#### *II.10.10.- Locales con Motores.*

Evítese concentrar motores en locales reducidos o en lugares que puedan dificultar su ventilación. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de su eficacia.

#### *II.10.11.- Transmisiones Mecánicas.*

El acoplamiento mecánico que existe entre el motor eléctrico, y la máquina impulsada es de vital importancia para el buen funcionamiento de aquél. Se debe seleccionar un tipo de transmisión adecuada, además de procurar un buen mantenimiento.

#### *II.10.12.- Acoplamiento de Motores.*

Se recomienda acoplar directamente el motor a la carga siempre que ésta lo permita. Con esto, se evitan las pérdidas en el mecanismo de transmisión.

#### *II.10.13.- Alineación del Motor.*

Se recomienda verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada, ya que una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo, ocasionar mayores daños.

#### *II.10.14.- Conexión de Motores.*

Se recomienda asegurar las conexiones del motor junto con las de su arrancador y demás accesorios, ya que conexiones flojas originan con frecuencia un mal funcionamiento del motor y pérdidas por disipación de calor.

#### *II.10.15.- Datos de Motores.*

Se debe contar con la más amplia información sobre las características de los motores, ya que en toda instalación eléctrica es prudente utilizar las curvas de velocidad y corriente-velocidad para su selección y operación.

#### *II.11.- Factor de Potencia.*

##### *II.11.1.- Aplicación.*

Esta sección contiene requisitos de carácter general sobre el Factor de Potencia (f.p.), que se aplican a las instalaciones y equipos eléctricos en general.

##### *II.11.2.- Identificación.*

En todo equipo eléctrico se recomienda indicar en la placa de datos su Factor de Potencia; así como otros parámetros que sean necesarios para un funcionamiento eficiente.

##### *II.11.3.- Métodos.*

En las instalaciones eléctricas nuevas o las ya existentes, debe usarse equipos para mejorar el Factor de Potencia. El mejoramiento del Factor de Potencia conduce a ahorros en el consumo de la energía, y a mejorar la eficiencia de la instalación. Los métodos usados para incrementar el Factor de potencia incluyen el uso de capacitores; así como motores y condensadores síncronos. El método más simple y económico es mediante el uso de capacitores.

##### *II.11.4.- Valores del Factor de Potencia.*

El factor de Potencia de toda instalación no debe ser inferior al 90%, y desde el punto de vista de Eficiencia ( $\eta$ ) y Ahorro de Energía, debe ser lo más cercano al 100%. El valor del este factor, se puede obtener como se indica a continuación:

a). Cálculo del Factor de Potencia promedio de un periodo determinado. Se considera la energía activa medida por un contador de este tipo (kW/hora). Se hace lo mismo con un medidor de energía reactiva (kVAR/hora). El Factor de Potencia de dicho periodo será:

$$\text{Cos } (\theta) = \text{f.p.} = (\text{kW/hora}) / \sqrt{(\text{kW7hora})^2 + (\text{kVAR/hora})^2}$$

b). Medición del Factor de Potencia instantáneo mediante el uso de un factorímetro. Este aparato mide directamente el Factor de Potencia instantáneo; sin embargo, no es confiable cuando entre las fases existe un gran desbalance de cargas.

##### *II.11.5.- Ubicación de Capacitores.*

La corrección del Factor de Potencia se puede hacer instalando capacitores en las instalaciones eléctricas donde el Factor de Potencia sea menor al 90%. Para lograr los mejores resultados, los capacitores deben conectarse tan cercanos a la carga como sea posible.

*II.11.6.- Disminución de Pérdidas por “Efecto Joule” al Corregir el Factor de Potencia.*

Al corregir el Factor de Potencia, las pérdidas se reducen de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\% R = \{ 1 - [ \text{Cos}(\theta) \text{ “antes de corregir”} / \text{Cos}(\theta) \text{ “después de corregir”} ]^2 \} * 100$$

donde: % R es el Porcentaje de reducción de Pérdidas.

*II.12.- Subestaciones.*

*II.12.1.- Requisitos Generales.*

*II.12.1.1.- Instalación y Mantenimiento del Equipo Eléctrico.*

a). Equipo Normal de uso Común.- Antes de ser puesto en servicio, debe comprobarse que el equipo eléctrico cumple con los requisitos establecidos a lo largo de este capítulo. Posteriormente, con la finalidad de resguardarlo en condiciones correctas de funcionamiento y aumentar la confiabilidad, la eficiencia y el Ahorro de Energía, se recomienda hacer un adecuado mantenimiento.

b). Equipo de Emergencia.- El equipo y las instalaciones de emergencia se deben revisar y probar periódicamente para cerciorarse de que están en buenas condiciones de funcionamiento.

c). Equipo de uso Eventual.- Se recomienda que el equipo o las instalaciones que se usan eventualmente, sean revisados y probados antes de usarse en cada ocasión.

*II.12.2.- Locales para Subestaciones.*

*II.12.2.1.- Instalación de Alumbrado.*

a)- Iluminación.- Las salas o espacios (interiores o exteriores) donde está localizado el equipo eléctrico, deben tener medios de iluminación artificial con intensidades adecuadas para las funciones que en cada caso se tengan que cumplir. Los medios de iluminación deben mantenerse listos para usarse en cualquier momento, y por el tiempo que sea necesario. En la siguiente Tabla II.3, se muestran los niveles de iluminación recomendables para locales interiores.

<u>LOCAL.</u>	<u>ILUMINACIÓN, (Luxes).</u>
Frente de tableros de control con instrumentos diversos, interruptores, etcétera.	300
Parte posterior de los tableros o áreas dentro de tableros “dúplex”.	60
Pupitres de distribución o de trabajo.	300
Cuarto de baterías.	200
Pasillo y escaleras (medida al nivel del piso).	100
Alumbrado de emergencia en cualquier área.	20

Tabla II.3.- Niveles de Iluminación Recomendados para Locales Interiores.

Los valores de iluminación que se indicaron en la Tabla II.3, son los que se recomiendan sobre las superficies de trabajo en los lugares respectivos, excepto en el caso de pasillos y escaleras.

No se requiere iluminación permanente en celdas de desconectores y pequeños espacios similares ocupados por aparatos eléctricos, donde dicha iluminación permanente es impráctica debido al consumo innecesario de energía.

Las subestaciones de usuarios de tipo poste o jardín quedan excluidas de los requerimientos a que se refiere esta parte del trabajo, y pueden considerarse iluminadas con el alumbrado existente para otros fines.

b). Fuente de Emergencia.- Se recomienda proveer a las subestaciones de una fuente de emergencia para iluminación; por ejemplo, un generador independiente, el banco de acumuladores existentes u otras formas apropiadas.

c). Contactos y Unidades de Alumbrado.- Los contactos para conectar aparatos portátiles deben situarse de manera que al ser utilizados, no sea necesario acercarse de forma peligrosa a partes "vivas". Las unidades de alumbrado deben situarse de manera que puedan ser controladas, repuestas y poder limpiarse desde lugares de acceso seguro. No deben instalarse usando conductores que cuelguen libremente y que puedan moverse de modo que hagan contacto con partes "vivas" de equipo eléctrico.

d). Circuito Independiente.- En subestaciones de usuarios, el circuito para alumbrado y contactos debe alimentar exclusivamente estas cargas y tener protección contra sobrecorriente, independiente de los otros circuitos. De ser factible, se recomienda que este circuito quede conectado antes del interruptor general de baja tensión, para que la apertura de éste, no afecte el servicio de alumbrado de la subestación.

e). Control de Alumbrado.- Con el propósito de reducir el consumo de energía y facilitar la visualización de fallas (los arcos eléctricos se detectan en la oscuridad) en el área de equipos, barras y líneas, el alumbrado debe permanecer al menor nivel posible, con excepción de los periodos de maniobras.

f). Mantenimiento.- Para asegurar el buen aprovechamiento de la Energía Eléctrica, reduciendo pérdidas por falsos contactos o fallas a Tierra, los sistemas de alumbrado deben tener un mantenimiento periódico de limpieza, ajuste de conexiones y demás.

### *II.12.3.- Instalaciones de Equipo Eléctrico Específico en Subestaciones.*

#### *II.12.3.1.- Transformadores de Corriente.*

Los circuitos secundarios de los transformadores de corriente deben tener medios para ponerse en cortocircuito, conectar a Tierra simultáneamente y aislar los transformadores del equipo normalmente conectado a ellos, mientras el primario esté conectado al circuito alimentador. El calibre mínimo que se recomienda utilizar en las conexiones de los secundarios de los transformadores de corriente es del No. 10 ( $5.26 \text{ mm}^2$ ) para control y protección; y del No. 14 ( $2.08 \text{ mm}^2$ ) para señalización.

### *II.12.3.2.- Instalación de Transformadores de Potencia.*

Los siguientes requisitos se aplican a transformadores de potencia (o de distribución instalados al nivel del piso), en exteriores o interiores:

a). En la instalación de los transformadores deben cumplirse las disposiciones respecto a defensas y distancias para resguardo de partes "vivas".

b). En la instalación de transformadores sumergidos en aceite, deben considerarse las recomendaciones sobre protección contra incendio.

c). En edificios que no se usen solamente para subestaciones, los transformadores deben instalarse en lugares destinados a ello, con ventilación apropiada hacia el exterior y que sean solamente accesibles a Personal Autorizado.

d). Selección de transformadores. Los Transformadores de Potencia deben ser seleccionados para trabajar lo más próximo posible al 100% de su capacidad para obtener un máximo rendimiento. Se debe de tomar en cuenta que pueden ser sobrecargados en los porcentajes indicados en la Tabla II.4 dependiendo de su enfriamiento.

<b><u>CLASE DE ENFRIAMIENTO</u></b>	<b><u>CAPACIDAD</u></b>	<b><u>EN</u></b>	<b><u>kVA.</u></b>	<b><u>% DE SOBRECARGA.</u></b>	
				<b><u>PRIMER PASO.</u></b>	<b><u>SEGUNDO PASO.</u></b>
	<b><u>MONOFÁSICO.</u></b>	<b><u>TRIFÁSICO.</u></b>			
OA / FA	501 – 2,499	501 – 2,499	15		-
OA / FA	2,500 – 9,999	2,500 – 11,999	25		-
OA / FA	10,000 o más	12,000 o más	33		-
OA / FA / FA	10,000 o más	12,000 o más	33		66
OA / FA / FOA	10,000 o más	12,000 o más	33		66
OA / FOA / FOA	10,000 o más	12,000 o más	33		66

Tabla II.4.- Sobrecarga en Transformadores por Clase de Enfriamiento.

### *II.13.- Iluminación.*

Un Sistema de Iluminación debe dar el nivel adecuado a los locales o áreas por iluminar para las actividades que se desarrollen en ellas. Además, debe haber ausencia de deslumbramiento y brindar una satisfactoria tonalidad de colores. El Sistema de Iluminación debe ser el óptimo para obtener la luz necesaria con un menor consumo de energía.

#### *II.13.1.- División de Locales.*

a). Se sugiere que las divisiones de las áreas, con las mismas necesidades de iluminación sean lo más grande posible, ya que así se logra un uso más eficiente del flujo luminoso.

b). Se recomienda que la cancelería o paredes que se usen como divisiones en donde se requieran, no se levanten al techo y en caso necesario, es aconsejable utilizar material transparente para que exista un intercambio de luz entre las distintas áreas.

#### *II.13.2.- Disposición y Color del Mobiliario.*

Se recomienda que el color del mobiliario sea claro y sin brillantez, y su disposición sea la adecuada para obtener un mejor aprovechamiento del Sistema de Iluminación y de la luz natural

### *II.13.3.- Reflectancias del Local.*

Para mejorar reflectancias en interiores, se recomienda utilizar colores claros y superficies lisas.

### *II.13.4.- Áreas Iluminadas.*

Cualquier espacio (residencial, laboral, social, etcétera) que tenga varias áreas de utilización deberá tener control de alumbrado para cada una de ellas; además, cada área debe contar con un número adecuado de controles.

### *II.13.5.- Tensión de Operación.*

Todo tipo de lámpara debe ser alimentada a la tensión nominal para obtener una buena operación y un máximo rendimiento.

### *II.13.6.- Luz Natural.*

Se debe utilizar y aprovechar al máximo la luz natural para iluminación de interiores.

**Nota:** En todo local se recomienda instalar ventanas de dimensiones adecuadas, domos y cualquier otro medio para introducir luz natural, además de hacer una distribución funcional del mobiliario.

### *II.13.7.- Iluminación Localizada.*

Se recomienda este tipo de iluminación para áreas o zonas de actividad específica.

### *II.13.8.- Iluminación General.*

Iluminación diseñada para alumbrar un área sin tomar en cuenta requisitos especiales.

### *II.13.9.- Utilización por Tipo de Lámpara.*

En la Tabla II.5, se presenta una guía que recomienda el tipo de lámpara que se debe emplear de acuerdo con el lugar requerido.

### *II.13.10.- Iluminación de Anuncios.*

Se recomienda el Ahorro de Energía Eléctrica en la iluminación de anuncios y aparadores utilizando dispositivos y equipos ahorradores de energía, atendiendo a conceptos como control y administración de carga y en lo posible, tratar de mantener iluminados dichos anuncios únicamente durante las horas de mayor tránsito vehicular y peatonal.

### *II.13.11.- Altura de Montaje de la Lámpara Fluorescente.*

No se recomienda instalar lámparas fluorescentes a alturas superiores a los 4 metros.

### *II.13.12.- Niveles de Iluminación.*

En la selección del nivel de iluminación se debe tomar en cuenta la actividad que se realiza en el área por iluminar y la disponibilidad de luz natural.











<b>TIPO DE LÁMPARA.</b>	<b>UTILIZACIÓN.</b>
 Sodio a Alta Presión.	<ul style="list-style-type: none"> <li> Alumbrado interior donde el índice de rendimiento de color no es crítico.</li> <li> Alumbrado industrial de media y de gran altura.</li> <li> Alumbrado público.</li> <li> Estacionamientos.</li> <li> Alumbrado de seguridad.</li> <li> Alumbrado de pasos peatonales.</li> </ul>
 Sodio a Baja Presión.	<ul style="list-style-type: none"> <li> Alumbrado de carreteras con neblina.</li> <li> Alumbrado exterior donde la identificación de colores no es necesaria.</li> </ul>
 Aditivos Metálicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li> Alumbrados deportivos y en interiores de gran altura donde los procesos a realizar impliquen una buena discriminación de colores.</li> <li> Alumbrado industrial.</li> <li> Centros comerciales.</li> </ul>
 Fluorescente.	<ul style="list-style-type: none"> <li> Iluminación de interiores en general.</li> </ul>
 Lámpara Fluorescente Compacta (Ahorradora de Energía).	<ul style="list-style-type: none"> <li> Alumbrado para todo tipo de locales.</li> <li> Ideal para hoteles, restaurantes, hospitales, casas-habitación.</li> </ul>
 Bombilla de Luz Mixta.	<ul style="list-style-type: none"> <li> Se pueden utilizar en ambientes internos y externos.</li> <li> Pueden ser alojados en luminarias de bombillas incandescentes.</li> <li> Se pueden utilizar en fábricas, estacionamientos o en plazas.</li> </ul>

Tabla II.5.- Tipo de Lámparas Recomendadas para Distintos Lugares de Utilización.

#### *II.13.13.- Dispositivos Ahorradores de Energía en Iluminación.*

La optimización del uso de la Energía en Sistemas de iluminación depende, en gran medida, de los dispositivos utilizados para controlar dicha iluminación en respuesta a los siguientes factores:

- 1.- Cambio y tareas múltiples.
- 2.- Disponibilidad de la luz natural.
- 3.- Horario de presencia (en el área de utilización).
- 4.- Facilidades de limpieza.
- 5.- Mantenimiento del Sistema de iluminación.

#### *II.13.14.- Selección del Equipo.*

a). Fuentes de Luz.- Es importante desde el punto de vista de Ahorro de Energía, seleccionar las fuentes de luz de mayor eficacia, evaluando conceptos como: rendimiento luminoso, color características ópticas, vida útil, eficacia inicial y depreciación.

b). Balastro.- El balastro tiene un considerable impacto en los lúmenes de salida de las lámparas de descarga y en el consumo de energía. Su selección requiere considerar aspectos importantes como: Factor de Balastro, Factor de Potencia, Factor de Eficacia de Balastro, etcétera.

c). Luminaria.- Un parámetro en la selección de una luminaria es su característica de distribución para tener un máximo aprovechamiento de la iluminación. En la Tabla II.6, se da una clasificación de luminarias de acuerdo con su característica de distribución.

<b>Número.</b>	<b>TIPO DE DISTRIBUCIÓN.</b>	<b>% DE LUZ</b>	<b>DIRIGIDA.</b>
		<b>HACIA ARRIBA.</b>	<b>HACIA ABAJO.</b>
1	Directa.	0 a 10.	90 a 100.
2	Semi-Directa.	10 a 40.	60 a 90.
3	General-Difuso.	40 a 60.	40 a 60.
4	Directo-Indirecto.	40 a 60.	40 a 60.
5	Semi-Indirecto.	60 a 90.	10 a 40.
6	Indirecta.	90 a 100.	0 a 10.

Tabla II.6.- Seis clases de Distribución de Luminarias.

Otros factores importantes a considerarse en la selección de una luminaria son: el coeficiente de utilización que indica la proporción del flujo luminoso sobre el plano de trabajo; y el confort visual.

#### *II.13.15.- Factores de Pérdida de Luz.*

En la selección de lámparas, luminarias, balastos, etcétera; en el diseño de un Sistema de Iluminación, se tendrán los distintos factores de pérdida de luz. Los más sobresalientes son:

- 1.- Depreciación lumínica.
- 2.- Acumulación de polvo y envejecimiento de la lámpara.
- 3.- Suciedad en la luminaria.
- 4.- Acumulación de polvo en paredes.
- 5.- Temperatura y humedad.
- 6.- Posición de la lámpara (se debe utilizar la indicada por el Fabricante).

#### *II.13.16.- Consideraciones de Diseño.*

Un adecuado Proyecto de Iluminación conduce a un Ahorro y uso racional de la Energía; para lograr esto, se deben considerar los siguientes aspectos:

##### 1.- Iluminación del medio.

- ⊕ Tarea visual.
- ⊕ Nivel d iluminación.
- ⊕ Distribución de iluminación.
- ⊕ Confort visual.
- ⊕ Control de deslumbramiento.
- ⊕ Rendimiento de color.
- ⊕ Apariencia física.

##### 2.- Medio Físico.

- ⊕ Tamaño y geometría del espacio.
- ⊕ Localización y orientación del plano de trabajo.
- ⊕ Divisiones y obstáculos (local).
- ⊕ Reflectancias de superficies.
- ⊕ Condiciones atmosféricas.
- ⊕ Humedad y disponibilidad de luz natural.



- ✦ Vibración y temperatura.
- ✦ Condiciones de tensión.

3.- Selección del Equipo.

- ✦ Eficiencia y rendimiento de lámparas y luminarias.
- ✦ Eficiencia y rendimiento de balastos.
- ✦ Procedimiento o métodos de cálculo.

#### *II.13.17.- Información Fotométrica.*

Para el diseño e instalación de Sistemas de Iluminación se debe contar con los datos fotométricos siguientes:

- 1.- Curva de distribución fotométrica.
- 2.- Ángulo de pantalla.
- 3.- Coeficiente de utilización.
- 4.- Espaciamiento máximo.
- 5.- Descripción de lámpara y luminaria.
- 6.- lúmenes por zona.
- 7.- Temperatura de color.
- 8.- Coordenadas de cromaticidad.

#### *II.13.18.- Balastos.*

##### *II.13.18.1.- Conexión a Tierra.*

Se recomienda conectar las cajas metálicas de los balastos a la Tierra efectiva de la Instalación.

##### *II.13.18.2.- Temperatura de Operación.*

Con el objetivo de mantener la temperatura de los balastos dentro de los rangos indicados por el fabricante, se recomiendan los siguientes puntos:

- 1.- Instalarlos en lugares que no se encuentren a altas temperaturas.
- 2.- Colocarlos sobre una superficie metálica de modo que la base completa quede en contacto directo con el metal.
- 3.- Si un mismo gabinete o luminaria contiene dos o más balastos, separarlos y orientarlos de manera que no se transmitan calor.

##### *II.13.18.3.- Balastos Termoprotégidos.*

Los balastos para lámparas fluorescentes deberán contar con protección térmica tal y como se establece en la Norma NOM-001-SEPM-1994 y la NOM-058-SCFI-1995.

##### *II.13.18.4.- Compatibilidad.*

Se deben instalar balastos adecuados a la capacidad de las lámparas. Evitar el uso de balastos Ahorradores de Energía con lámparas que no sean compatibles.

##### *II.13.18.5.- Sistemas de Encendido.*

Con el fin de tener un menor consumo de energía, se sugiere utilizar el sistema de encendido rápido, y cuando se instalen los balastos en un lugar distante, se recomienda la utilización del encendido instantáneo.

#### *II.13.18.6.- Tipos de Balastos.*

Se recomienda utilizar balastos asociados a equipos que utilicen equipos con Ahorro de Energía.

#### *II.14.- Luminarias.*

##### *II.14.1.- Conexión a Tierra.*

Las luminarias deben ser conectadas a la Tierra efectiva de la Instalación Eléctrica.

##### *II.14.2.- Control Térmico.*

Para mantener la temperatura correcta de funcionamiento de balastos, lámparas, etcétera; se recomienda instalar los luminarias de tal manera que tengan una buena ventilación y a 15 cm del techo, en lugar de colocarlos directamente sobre él. Además, es recomendable la utilización de diversos dispositivos disipadores de calor.

##### *II.14.3.- Luminaria Eficiente.*

Se insiste en luminarias eficientes porque su diseño permite una buena distribución del flujo luminoso. Esto se logra incorporando a la luminaria reflectores y difusores de alta eficiencia, pintura de alta reflectancia, rejillas parabólicas y otros.

### CAPÍTULO III.

#### **AHORRO DE ENERGÍA EN INSTALACIONES DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL.**

##### III.1.- Introducción.

Los equipos industriales de refrigeración se caracterizan porque consumen grandes cantidades de Energía Eléctrica durante su operación. La demanda eléctrica elevada puede ser resultado de un uso ineficiente de los equipos: de bajos factores de potencia o de bajos factores de carga, lo que implica cargos elevados en la cuenta de energía. Pero, la demanda eléctrica necesaria para la operación de Sistemas de Refrigeración puede reducirse mediante dispositivos ahorradores.

La estimación del Ahorro de Energía asociado a la introducción de aditamentos para mejorar los equipos y sus condiciones de operación, exige un análisis técnico exhaustivo, además de una evaluación económica que ponga de manifiesto cuáles son los recursos necesarios para lograr el Ahorro de Energía propuesto.

##### III.2.- Objetivo.

El objetivo del presente capítulo, es presentar en forma clara y precisa los parámetros relacionados con el Ahorro de Energía en la Refrigeración Industrial.

Así mismo, se pretende que a través de este documento, el usuario tenga la información suficiente y adecuada para implantar euna Empresa: formas, métodos o procedimientos que la conduzcan a optimizar sus recursos energéticos para obtener los beneficios del Ahorro en el consumo de Energía Eléctrica.

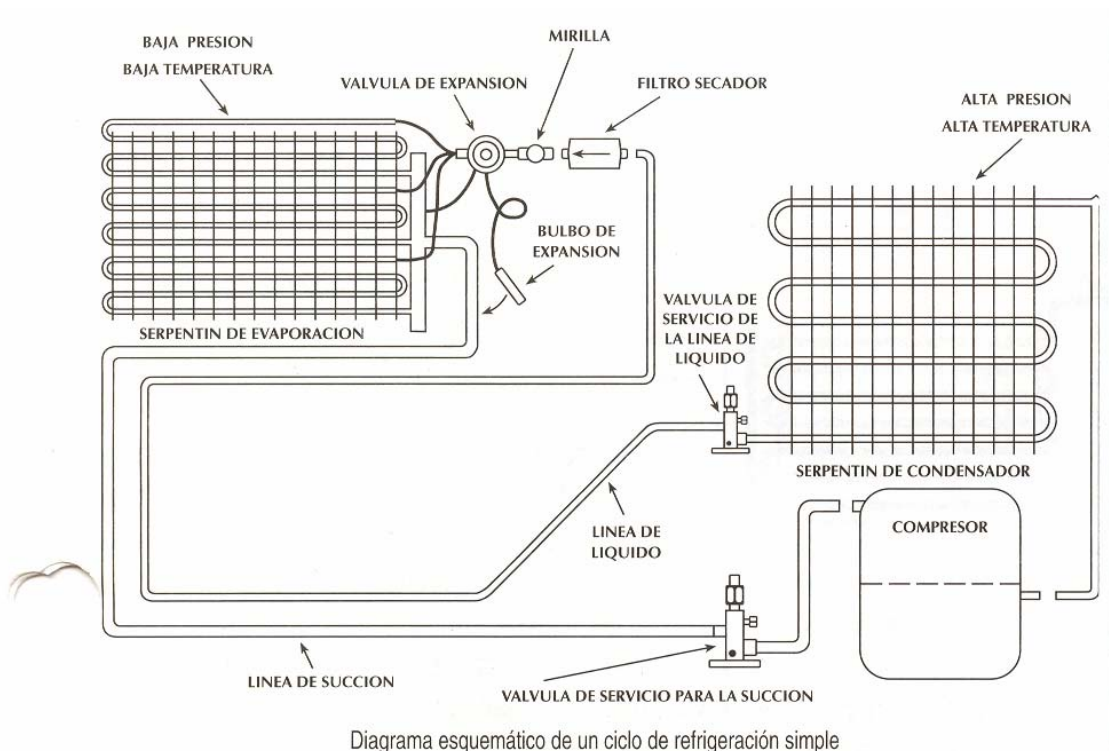


Figura III.1.- Diagrama Esquemático de un Ciclo de Refrigeración Simple.

### III.3.- Métodos de Refrigeración Industrial.

Los Sistemas de Refrigeración más usados en la Industria son:

- ① Refrigeración por compresión.
- ② Refrigeración por absorción.

El segundo encuentra aplicación:

a). Donde se dispone de combustible de bajo costo, como cuando se cuenta con suministro de gas natural.

b). Donde las tarifas de Energía Eléctrica son elevadas. Siempre que el costo del vapor en toneladas sea menor que 50 veces el costo de la electricidad por kW, es presumible un costo de funcionamiento más bajo con la máquina de absorción.

c). Cuando la capacidad de la caldera de calefacción de baja presión no se aprovecha parcial o totalmente durante la estación de refrigeración.

d). Donde se dispone de vapor no utilizado.

e). Cuando se carece de alimentación eléctrica adecuada para instalar una máquina de refrigeración por compresión.

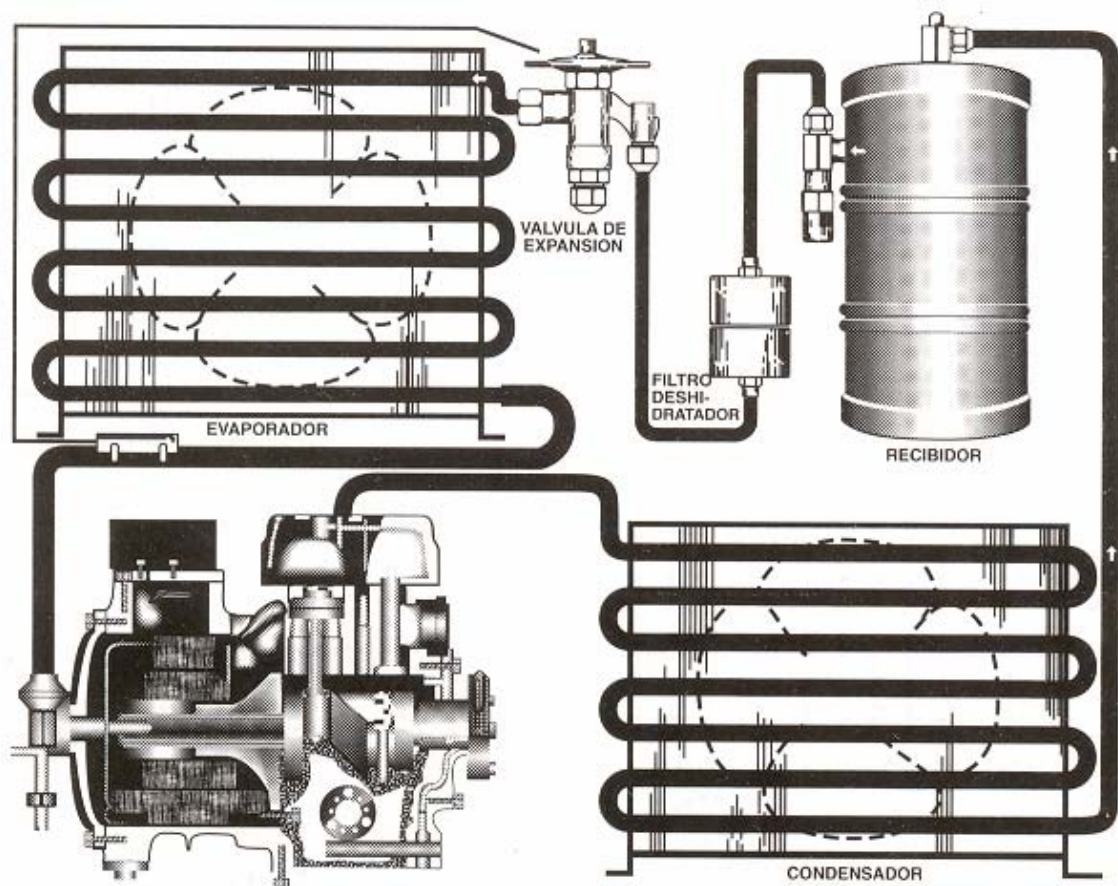


Figura III.2.- Sistema Típico de Refrigeración por Compresión.

### **1.- Refrigeración por Compresión.**

Es el método más común de refrigeración. Existen dos diferentes presiones en el ciclo, la de evaporación, en el lado de baja presión, y la de condensación en el de alta presión. Estas áreas de presión están separadas por dos puntos: la válvula de expansión y el compresor.

El calor se transmite del aire caliente al serpentín, que se ha enfriado por la evaporación de refrigerante dentro del sistema, causando que hierva y se evapore.

Ahora, este vapor de baja presión y temperatura es conducido al compresor donde aumenta su presión y temperatura. El compresor descarga el vapor en el condensador, de tal manera que cede el calor que ha tomado en el serpentín de enfriamiento o evaporador, y se condensa.

En resumen, el ciclo de refrigeración está constituido por un proceso de evaporación a baja presión y baja temperatura, seguido por otro de compresión y uno de condensación a temperatura ambiente y presión elevada. El líquido a presión elevada pasa desde el condensador hasta el evaporador por medio de una válvula de expansión, con la que se reinicia el ciclo.

### **2.- Refrigeración por Absorción.**

La máquina de absorción es una unidad que utiliza agua como refrigerante y contiene una solución de alguna sal, tal como bromuro de litio que actúa, como absorbente. Sus componentes son:

- 1.- Sección de evaporador, donde el medio es enfriado por evaporación del refrigerante.
- 2.- Sección de absorbedor, donde el vapor del agua evaporada es succionada por el absorbente. El calor de absorción es disipado por circulación de agua en el condensador de esta sección.
- 3.- Sección de generador, donde es adicionado calor en forma de vapor o de agua caliente, para hacer que hierva el refrigerante y concentrar la solución.
- 4.- Sección de condensador, donde el vapor de agua producido en el generador es condensado por el agua que circula en esta sección.
- 5.- Bomba del evaporador, que hace circular a presión el refrigerante en el evaporador.
- 6.- Bombas de la solución, que bombean la solución de sal hasta el generador y hacia el colector de pulverización del absorbedor.
- 7.- Intercambiador de calor, donde la solución diluida que es bombardeada hacia el generador desde el absorbedor aumenta su temperatura por la solución caliente concentrada que retoma al absorbedor.
- 8.- Unidad de pugna, que se emplea para eliminar los vapores no condensables y mantener una presión baja en ésta.

### **3.- Banco de Hielo.**

La producción en gran escala de hielo se hace generalmente, en forma de bloques, en tamaños que varían de 20 a 180 Kgs. La variación en los tamaños del bloque depende de la medida de los recipientes en los cuales se congelan el hielo o el agua.

El hielo para uso comercial se produce de muchos tamaños y formas, tal como hielo en concha, hielo en tubo y aún en película delgada. Algunas de las máquinas que hacen hielo en cubo tienen dispositivos para triturarlos, si es necesario.

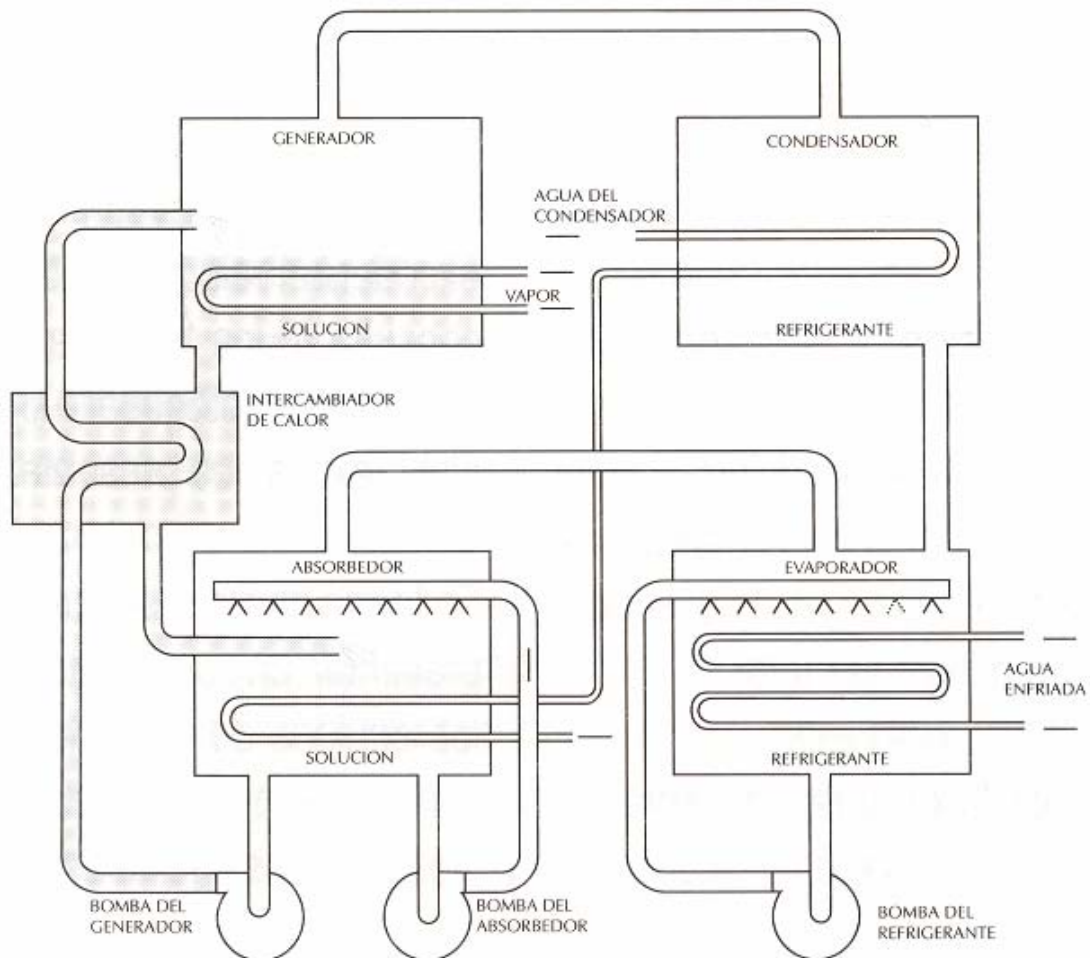


Figura III.3.- Ciclo Fundamental de Absorción.

#### III.4.- Controles.

El control de un ciclo básico de refrigeración es un dispositivo que pone en marcha, detiene, regula y/o protege el equipo de refrigeración y sus componentes, para mantener las condiciones deseadas en el local refrigerado.

Los controles primarios arrancan y/o detienen el ciclo directa o indirectamente, de acuerdo con los requerimientos de temperatura o humedad. Existen tres tipos de controles primarios, que según su operación, se dividen en:




**1.- Termostatos.-** Que responden a los cambios de temperatura. Por ejemplo: el termostato detecta un incremento en la temperatura (previamente establecida) de un cuarto frío y pone en marcha el compresor.

**2.- Presóstatos.-** Los que se usan a menudo para controlar las condiciones de temperatura, al controlar la presión del evaporador. Cuando la presión del evaporador (y su correspondiente temperatura) aumenta, el presóstato actúa y pone en marcha el compresor.

**3.- Humidóstatos.-** Que se emplean en cámaras de enfriamiento, en donde la humedad sea factor de mucha importancia. El Humidóstatos pone en marcha el ciclo de refrigeración, cuando la humedad llega a un punto determinado.

### III.5.- Dispositivos Ahorradores de Energía Eléctrica.

**1.- Dispositivos de tiempo de funciones múltiples.-** Los programadores o “Timers” sirven para establecer una secuencia en el arranque de las unidades. Las funciones que se obtienen de ellos, y que inciden directamente en el Ahorro de Energía son:





-  Impiden al compresor detenerse o arrancar en ciclos muy frecuentes, dando un tiempo de 5 minutos después de un paro, y antes de que arranque de nuevo.
-  Cortocircuitan los contactos del interruptor de baja presión durante 2 minutos en el arranque, para evitar falsos paros del compresor mientras la válvula de expansión abre y mantiene la presión correcta.
-  Proporciona la secuencia entre el arranque de un compresor y otro, donde se utilizan dos compresores, evitando que comiencen a funcionar simultáneamente.

**2.- Interruptores termomagnéticos y sensores de temperatura.-** Actúan ante sobrecargas de corriente. Antes de reestablecer un interruptor, determinar la causa por la cual se disparó y nunca incrementar la capacidad del mismo sin estar seguro de que, al hacerlo, no pone en peligro al motor.

**3.- Indicadores de humedad y de líquido refrigerante.-** Un flujo claro y transparente de líquido refrigerante visto a través del indicador, es señal de carga suficiente en el sistema. Si se observan burbujas, es señal de baja carga de refrigerante o presencia de no condensables. El cambio de colores del indicador, muestra la humedad:

Verde = Humedad inferior a 45 ppm<sup>1</sup>.  
Verde y Amarillo = 45 a 130 ppm.  
Amarillo = Superior a 130 ppm.

**4.- Controladores Lógicos Programables, (PLC).-** El avance tecnológico, ha permitido la aplicación de Controladores Lógicos programables (PLC) que permiten la implantación de programas de Ahorro de Energía Eléctrica reduciendo los picos de demanda máxima y de consumo. Estos equipos son capaces de procesar en tiempo real, la información proveniente del medidor de corriente y obtener los siguientes datos:

-  Total de kW/hora acumulados.
-  Demanda máxima registrada: hora y fecha del evento.
-  Factor de Potencia.
-  Factor de Carga.

El usuario puede determinar el nivel de demanda máxima a alcanzar durante el mes, y programar dicho valor en el sistema. Estos equipos mediante un cálculo de pronóstico de demanda proveen que el nivel de demanda actual excederá el valor programado; por lo que, deciden mediante consulta a una Tabla de Prioridades la carga o cargas a desconectar, bloquear o limitar en potencia para evitar que dicho exceso se presente.

En forma general, se puede decir que aquellas cargas que presentan un comportamiento cíclico (como es el caso de los equipos de refrigeración) con periodos de hasta 45 minutos entre arranque y paro, son factibles de ser incorporados en una estrategia para control de demanda.

---

<sup>1</sup> ppm.- Significa, “partes por millón”.

### III.6.- Recomendaciones a Considerar en la Instalación.

a). Seleccionar el Compresor adecuado a las necesidades específicas de uso. Cuidar de no sobredimensionar el equipo, ya que se corre el riesgo de ser subutilizado.

b). Si el sistema de compresión cuenta con etapas múltiples, cerciorarse de que la instalación entre compresores sea la adecuada, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- ☀ Retorno de aceite.
- ☀ Protección del compresor.
- ☀ Protección durante las paradas.

El tendido de tuberías debe evitar, tanto como sea posible, la acumulación de aceite en partes del sistema que no estén en funcionamiento.

c). Siempre que se utilicen compresores múltiples, deben instalarse líneas de igualación de carters.

d). La Línea de aceite va por el suelo y la línea de gas va lo suficientemente alta, como para permitir el paso bajo ella.

e). Cerciorarse que los otros compresores reciben el aire adecuado. La potencia del Sistema de Refrigeración debe basarse en la carga máxima, más un factor de seguridad del 10%. Los sistemas de menor tamaño tendrán que trabajar excesivamente, aumentando al máximo los costos de operación, electricidad y mantenimiento. Los sistemas de tamaño excesivo, representan una inversión innecesaria de fondos limitados que probablemente podrían usarse mejor en otra parte, y los repuestos para los sistemas mayores son de un costo elevado.

f). Se recomienda que con respecto a los cuartos fríos:

- 📌 Se coloquen antesalas o algún sistema de sellado que evite las fluctuaciones de temperatura al introducir o sacar producto del cuarto; por ejemplo, cortinas plásticas o puertas herméticas en las cámaras de congelación.
- 📌 Diseñar compartimentos en el cuarto, utilizando una sección para el temperado del producto con la temperatura deseada, y otra sección para la retención del producto a la temperatura requerida hasta su procesamiento.

g). Introducir el producto para congelarse a la temperatura más baja posible, pero cuidando que siempre sea la misma, para reducir la carga de refrigeración.

h). Mantener un buen Sistema de Tierras.

### III.7.- Carga Térmica.

Para conocer cómo se comporta la temperatura en un local cerrado, deben analizarse las fuentes de cambio de temperatura. Estas son:

- 👉 El calor transferido por conducción del o al exterior a través de las losas, paredes y pisos, ( $Q_1$ ).
- 👉 El calor transferido por la energía solar, ( $Q_2$ ).
- 👉 El calor infiltrado a través de aperturas de puertas y ventanas, ( $Q_3$ ).
- 👉 El calor emitido por los equipos, las lámparas y motores del lugar, ( $Q_4$ ).
- 👉 El calor emanado de las personas, ( $Q_5$ ).



■ El calor de la carga a enfriar, ( $Q_6$ ).

La ganancia total de calor es la suma algebraica, tomando en cuenta para el signo, las temperaturas dentro y fuera del local:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

La carga térmica de refrigeración, es la cantidad de calor que se extraerá del producto a refrigerar, para mantener una temperatura dada, en determinada área. Dependerá del calor específico del producto, de la velocidad de respiración del producto, del número de puertas en la cámara y del número de veces que se abren éstas. En la medida que se controlen estas variables ( $Q$ ), se estará en la capacidad de Ahorrar Energía destinada a la Refrigeración Industrial.

La aplicación de este tipo de medidas de control, requiere de un análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos, lo que incluye la información sobre volúmenes manejados o procesados y consumos específicos de energía. La información obtenida directamente en campo, se compara con la de diseño, con el objetivo de obtener las variaciones de eficiencia.

El paso siguiente, es establecer estándares energéticos; esto es, determinar cuántas toneladas de refrigerante son necesarias para obtener un servicio o producto, o bien, esclarecer la cantidad de producto perdido por unidad de refrigeración.

### III.8.- Cómo Controlar la Demanda para lograr un Ahorro Energético.

En los servicios suministrados en la Tarifa 3 y en Alta Tensión, además del cobro por Energía Eléctrica (kW/hora), el sector eléctrico hace un cargo por cada kW de demanda.

A la eliminación de picos se le denomina Administración de la Demanda y se logra dejando de operar equipos en horas pico, para hacerlos funcionar de nuevo a la hora del "Valle" o de baja carga, o bien, apagando el alumbrado innecesario a la hora pico. Se obtienen mejores resultados, si se instala equipo que, en forma automática y programable, controle las cargas.

### III.9.- Operación de Sistemas de Refrigeración para Ahorrar Energía.

- a). Utilizar temperaturas apropiadas de funcionamiento. Muchos usuarios fijan el termostato más bajo de lo necesario, resultando en un desperdicio de electricidad.
- b). Organizar los productos almacenados de manera que la puerta se abra lo menos posible.
- c). Mantenga los serpentines de enfriamiento bien separados de los productos almacenados.
- d). Apagar las luces interiores cuando la cámara esté sin ocupar.
- e). Eliminar los materiales de empaque innecesarios.
- f). dejar un espacio de aire entre los productos almacenados. Se recomienda usar anaqueles adicionales de metal perforado para permitir la circulación de aire por encima y alrededor de los productos.
- g). La velocidad óptima del aire depende del sistema de congelación, tipo de congelador, temperatura del trabajo, grosor del producto y demás características adicionales del producto. Velocidades del aire de 0.5 a 18 [m/s] sobre el producto han sido reportadas, pero generalmente, se emplean en el rango de 2 a 7 [m/s]. En términos generales, las velocidades bajas de aire resultan más económicas con productos gruesos que con productos delgados. La eliminación de espacios muertos (para evitar que el aire se desvíe de los productos) reduce el consumo de energía causado por el abanico.
- h). Enfría a la temperatura ambiente los productos calientes antes de colocarlos en la cámara.

i). Usar los ciclos apropiados de descongelación en los frigoríficos. Dos ciclos de descongelación es todo lo que se requiere para un uso normal.

j). Se recomienda tener un control sobre la distribución y forma de colocación del producto en el cuarto frío, a manera de favorecer un contacto óptimo entre el aire y el producto, y una circulación adecuada del aire.

k). Para cada producto, establecer la temperatura de enfriamiento que evite las reacciones deteriorativas y la humedad relativa recomendada que debe tener el aire.

l). Tener controles adecuados de medición de temperatura y velocidad del aire.

m). Utilizar adecuadamente los compresores instalados en tal forma que no sean subutilizados, ya que, en las condiciones actuales, la tonelada de refrigeración genera con un consumo menor al instalado, por ello, ajustar el número de compresores a lo necesario, para abastecer sus necesidades reales de refrigeración.

n). Purgar continuamente el Sistema de Refrigeración.

o). Ajustar el tiempo de apertura de las cámaras con temperaturas más bajas, al estrictamente necesario.








### III.10.- Para Ahorrar Energía: El mantenimiento que debe darse al Sistema de Refrigeración.

Un Programa de Mantenimiento Preventivo incluye lo siguiente:

#### 1.- Diariamente:

-  Mantener al día un libro de registro de funcionamiento de los equipos.
-  Seguir las recomendaciones del Fabricante.


#### 2.- Anualmente:

-  Rehabilitar completamente la unidad de purga.
-  Analizar el refrigerante.
-  Analizar el aceite.
-  Verificar completamente los controles.
-  Verificar detalladamente el motor.
-  Si la máquina tiene caja de engranes, verificarla.
-  Inspeccionar la máquina completa.






#### 3.- Periódicamente:

- Evaluar la operación y eficiencia del equipo.

#### 4.- En cualquier momento:

-  Siempre que se sospeche de alguna dificultad, deben tomarse medidas para verificar y corregir. Aquí es muy grande el potencial de ahorro.

En términos generales, las recomendaciones más importantes para el Ahorro de Energía son las siguientes:

-  Revisar las llaves que controlan el flujo del vapor, ya que, en su mayoría se encuentran en mal estado, provocando fugas.
-  Reparar las fugas en las cámaras y tanques inundados.
-  Mantener limpios los compresores.
-  Mantener en buen estado todas las bandas de los compresores recíprocos, de tal forma que no estén con la tensión incorrecta o en mal estado.
-  Revisar los alineamientos de los motores y sus acoplamientos.

- ✚ Verificar el sobrecalentamiento de motores, el cual puede indicar un problema funcional y/o carencia de ventilación.
- ✚ Inspeccionar las chumaceras y bandas de transmisión, ajuste o reemplace en caso necesario.
- ✚ Verificar con frecuencia los niveles y temperatura del aceite lubricante.
- ✚ No sobrepasar la intensidad máxima admisible en barras.
- ✚ Mantener en la mejor calidad de limpieza los tubos de los condensadores para que se realice una buena transmisión de calor, pues las incrustaciones de sarro disminuyen la transferencia de calor hacia el fluido refrigerante, en consecuencia, las toneladas de refrigeración, que pueden condensar son inferiores a las nominales.
- ✚ Revisar el estado del aislante que recubre los tubos de distribución del amoníaco y sus accesorios.
- ✚ Comprobar y corregir las conexiones de todo el equipo de refrigeración instalado para prevenir pérdidas de energía.
- ✚ Observar regularmente las conexiones de las barras y los cables.
- ✚ Vigilar con frecuencia el estado de los aislantes eléctricos.
- ✚ Estar alerta de calentamientos y pérdidas de energía excesiva en conexiones, contactos y arrancadores.

### III.11.- Oportunidades de Ahorro de Energía Eléctrica.

Un componente eléctrico genera siempre calor al mismo tiempo que consume energía. Cuando el voltaje de alimentación a un componente eléctrico es demasiado alto o bajo puede generar calor adicional.

Verificar frecuentemente el voltaje de alimentación en el equipo de refrigeración. Si existe una caída de voltaje, puede ser necesario instalar cables de mayor diámetro entre la línea de servicio y la unidad de refrigeración.

Las posibilidades más interesantes de Ahorro de Energía están en los compresores y en los condensadores. Sin embargo, no deben pasarse por alto los demás componentes del ciclo de refrigeración, donde también puede lograrse mayor eficiencia energética. Otras recomendaciones, de tipo general, para Ahorrar Energía son:

- a). Llevar permanentemente un registro de los consumos de Energía Eléctrica, demanda máxima y Factor de Potencia.
- b). determinar los lapsos de demanda pico para dejar fuera de operación los equipos, luminarias o sistemas que no sean indispensables en ese periodo de tiempo.
- c). Colocar recordatorios visuales, carteles y calcomanías en los(as) cuales se motive al Personal a mantener el equipo en condiciones adecuadas de operación.
- d). Promover la colaboración de todos.
- e). Se recomienda establecer índices comparativos de consumo para conocerlos avances en el programa de Ahorro de Energía. Un índice puede ser la cantidad de kW/hora consumidos, por cantidad de producto procesado.
- f). Elaborar un **Programa de Ahorro de Energía.**

## CAPÍTULO IV.

### **AHORRO DE ENERGÍA EN BOMBAS CENTRÍFUGAS.**

#### IV.1.- Objetivos.

Los objetivos de este capítulo se habrán cumplido si después de analizarlo:

Se pueden identificar y analizar desde el punto de vista energético los factores principales y fuentes de pérdidas que influyen en el consumo de energía de las Bombas Centrífugas.

Se logran establecer las acciones necesarias para lograr un consumo eficiente de energía en Bombas Centrífugas.

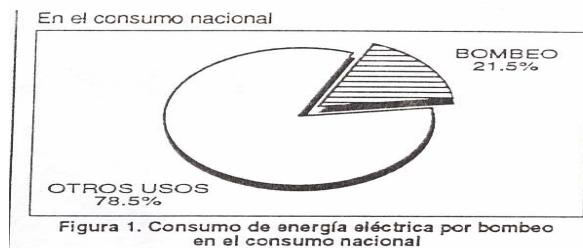
Se comprendan mejor las curvas características de comportamiento de los equipos de bombeo.

Se conozcan a fondo los métodos de prueba de Bombas Centrífugas en fábrica y en campo

Se adquiera la información básica para especificar adecuadamente adquisiciones y reparaciones de Bombas Centrífugas.

#### IV.2.- ¿Cuánto es el Consumo por Bombeo?

La importancia del consumo, y por lo tanto, de las oportunidades de Ahorro de Energía Eléctrica en los equipos y sistemas de bombeo, pueden estimarse fácilmente en su magnitud si se observa cuánto pesa el bombeo. (Ver Figura IV.1).



La importancia del consumo en bombas centrífugas, tema de este fascículo, se ilustra en la fig. 3

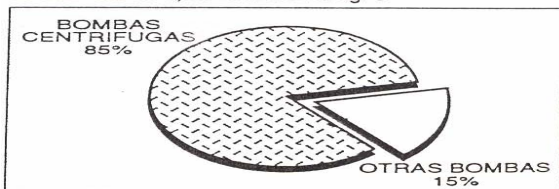


Figura IV.1.- Consumo de Energía Eléctrica por Bombeo en el Consumo Nacional. Consumo de Energía Eléctrica por Bombeo en la Industria. La Importancia del Consumo en Bombas Centrífugas en Relación con otras Bombas.

Como puede observarse su campo de aplicación es amplio, y deben explorarse las áreas de oportunidad en busca de beneficios energéticos y económicos, en cada caso particular, y como uso final de la Energía.

#### IV.3.- Potencial de Ahorro.

Las gráficas mostradas, las cifras de consumo que representan y los valores de eficiencia en que operan miles de equipos de bombeo (45 a 60%), permiten estimar un potencial de Ahorro de Energía superior a  $5 \times 10^{10}$  [kW/hora] anuales.

#### IV.4.- Aplicaciones Generales de Bombas Centrífugas.

Las Bombas Centrífugas constituyen el tipo más usual de dispositivos para proporcionar energía a sustancias líquidas; se les encuentra prácticamente en todas las instalaciones industriales y en un buen número de instalaciones agrícolas, de servicios públicos, comerciales e incluso domésticas, impulsando líquidos corrosivos, abrasivos, criogénicos, calientes, claros viscosos, volátiles o con sólidos en suspensión. Estas bombas son construidas en materiales que van desde el vidrio hasta el titanio, pasando por cerámicas, plásticos y otros metales. Prestan servicios todos los servicios imaginables, desde una fuente de ornato hasta el abastecimiento de agua a una población; con potencias que oscilan entre fracciones de Watt hasta varios MW, venciendo cargas de hasta 2,500 m de columna de agua y moviendo desde algunos mililitros por minuto, hasta cientos de metros cúbicos por segundo. Aunque mayoritariamente accionadas por motores eléctricos, también las hay impulsadas por turbinas de todos tipos, y también, por motores de combustión interna.

Algunas aplicaciones relevantes para el alcance de este capítulo, se les encuentra en la industria química, en las plantas de tratamiento de aguas, en la irrigación, en las bombas contra incendio, en la industria petrolera, en la industria papelera, en la industria azucarera, en la textil, en la huletera, en el procesamiento de alimentos y bebidas, en la minería, en la construcción, en la siderurgia, en la metalmecánica, en aire acondicionado, en la refrigeración, en centrales termoeléctricas, en hidroeléctricas y en las nucleoelectricas.

#### IV.5.- Conceptos y Definiciones.

Una Bomba es el componente esencial de un sistema hidráulico; la acción del bombeo es la adición de energías cinética y potencial a un líquido con el objetivo de moverlo de un punto a otro.

Una Bomba Centrífuga transforma la Energía Mecánica de un impulsor rotatorio en la Energía Cinética y Potencial requeridas, incrementando la Energía del fluido, esta energía hará que el fluido efectúe Trabajo, ya sea circular por una tubería o subir a una mayor altura.

I.- Bomba Centrífuga.- Máquina compuesta por un grupo de aspas o alabes rotativos confinados dentro de una carcasa o voluta. El líquido es forzado a seguir los contornos de las aspas bajo la acción de la fuerza centrífuga que le imparten las mismas al girar, incrementando su velocidad y presión al seguir esta trayectoria. Aunque está integrada por una gran cantidad de piezas, se puede reducir a dos elementos principales: uno estacionario, formado por la carcasa, la caja de empaques o sellos y chumaceras; así como otro rotativo, constituido por un impulsor y la flecha.

II.- Carga.- El bombeo sólo tiene sentido dentro de un sistema; la cantidad de energía impartida depende sólo de la Bomba y no del fluido; por lo que es independiente de las características de éste, dicha energía se conoce como Carga o Altura Total del Sistema y la integran:

1.- Carga Estática: Diferencia neta en elevación entre los niveles de líquido del punto de descarga o depósito final del sistema (el mayor de los dos) y el sistema. (Ver Figura IV.2).

2.- Carga por Fricción: Es la generada por el movimiento del líquido a través del sistema y corresponde a la energía disipada por el líquido debido a la fricción con las paredes de la tubería y accesorios, así como a los factores de forma de ambos; ya que sólo se produce al establecerse el flujo, es conocida también como Carga Dinámica.

3.- Carga por Velocidad: Es la energía del líquido en cualquier punto del sistema, expresada en metros de columna de agua; se calcula de acuerdo con la fórmula:

$$h_v = (V^2) / (2) * (g)$$

en donde:  $h_v$  = carga por velocidad en [metros].

$V$  = velocidad del líquido en [m/s].

$G$  = aceleración de la gravedad; es decir, 9.81 [m/s<sup>2</sup>].

Restando la carga por velocidad a la entrada del sistema de aquella a la salida, se obtiene la carga por velocidad neta que debe añadirse a la lectura de presión en los manómetros; esta carga frecuentemente no se considera, pero en sistemas de bombeo de baja carga *puede acarrear un importante subdimensionamiento del equipo.*

☀ *Pérdidas de Entrada y Salida.* Aunque generalmente se consideran dentro de las pérdidas por fricción en las tuberías de Entrada/Salida, es importante considerarlas, pues en no optimizar el diseño de salida y entrada requerirá de una mayor potencia al equipo.

☀ *Diferencia de Presiones entre nivel Inicial y Final de Líquido del Sistema.* Esto es de particular importancia en sistemas que descargan y/o se alimentan de depósitos a presión, o bien en sistemas con descarga y succión a presión atmosférica y con altas cargas estáticas, donde la diferencia en altura genera en efecto, una diferencia de presiones atmosféricas.

4.- Carga por Succión. Es la carga estática en la línea de succión de la bomba sobre la línea de centros de la misma, menos la carga por fricción (incluyendo las pérdidas de entrada) más la presión existente en la fuente de succión.

5.- Carga Neta Positiva de Succión, (NPSH). Se define como la carga total de succión menos la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo; en el caso de bombas cuya carga de succión es negativa (caso por cierto muy común), la NPSH será igual a la presión atmosférica más la carga de succión menos la presión de vapor, físicamente puede observarse que para bombear un líquido en ebullición, deberá tenerse una carga de succión positiva; se ha hecho referencia a la NPSH disponible, que depende de la instalación y es un dato importante para especificar y diagnosticar instalaciones de bombeo, es uno de los parámetros que condicionan una operación correcta y segura. La NPSH requerida depende del diseño de la bomba; si su valor no se satisface, las consecuencias son muy costosas en daños y consumo energético.

6.- Carga de Salida. La carga de salida o altura de descarga de una Bomba Centrífuga se mide en la conexión de descarga del equipo y es igual a la suma algebraica de la carga estática, la carga por fricción para la capacidad considerada, la pérdida de salida en la descarga de la línea y la presión de velocidad, más la presión del receptor, en su caso.

7.- Carga Total. Es la energía transferida por la bomba al líquido; es decir, la diferencia algebraica entre la carga de salida y la carga de succión, o bien corresponde a la suma algebraica de la carga estática más las pérdidas por fricción, más las pérdidas de entrada y salida, más la presión en el punto de descarga o nivel de líquido final (el más alto) menos la presión en la superficie del líquido en el depósito de succión. Es común manejar los valores de estas cargas en altura equivalente en metros de agua.

III.- Velocidad Específica.- La velocidad específica de una bomba ( $n_s$ ), es un factor empleado para relacionar físicamente entre sí, diseños de bombas; se expresa en rpm y es el valor al cual, girará el impulsor de una bomba para entregar un gasto de una unidad de volumen por una unidad de tiempo contra una carga de una unidad de altura; existe una expresión que emplea galones por minuto y pies, denotada por "N", y que es útil por la gran cantidad de información disponible en estas unidades:

$$n_s = (n) \cdot (\sqrt{Q}) / h^{3/4}$$

$$N_s = (n) \cdot (\sqrt{gpm}) / h^{3/4}$$

en donde: n = rpm.

Q = gasto o caudal.

H = carga total.

En estas fórmulas:  $N_s = (21.2)n_s$ , pero debe entenderse que este concepto sólo tiene sentido cuando se habla de Eficiencias máximas.

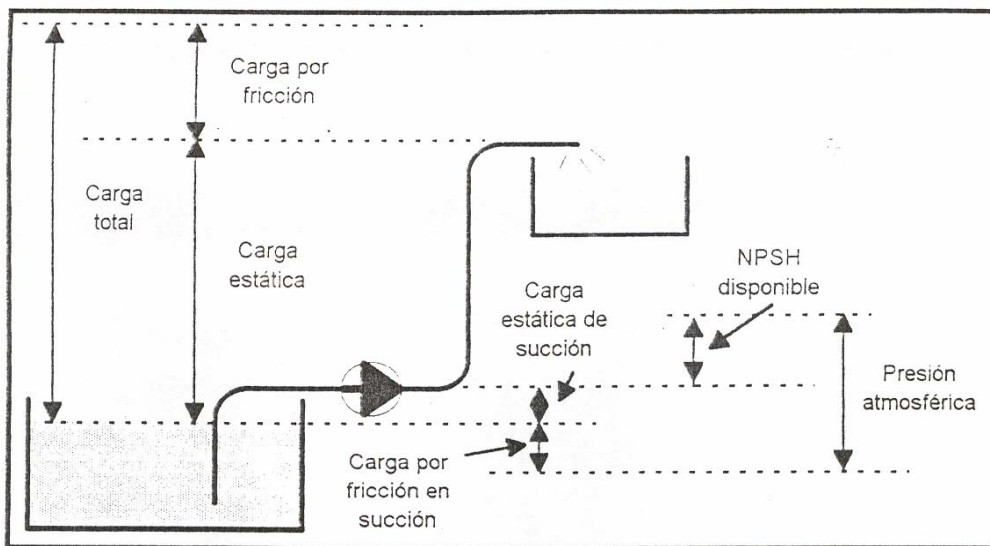


Figura IV.2.- Terminología Energética en Bombas.

#### IV.6.- Cómo se comporta una Bomba Centrífuga.

Las Bombas Centrífugas, a diferencia de todos los otros tipos, operando a velocidad constante, puede movilizar cualquier cantidad de líquido, desde cero hasta un valor que está en función del diseño, tamaño y condiciones de succión. Las interrelaciones de capacidad, potencia requerida, carga y eficiencia se denomina características de la bomba y al graficarse para diferentes valores dan como resultado las Curvas Características de Comportamiento, las cuales en general se construyen desde la condición de flujo cero (válvula de descarga cerrada), hasta un cierto valor, generalmente el de máxima capacidad de entrega en el flujo de la bomba.




Aunque se pueden graficar en varias formas y combinaciones, generalmente se encuentran curvas donde la carga, la potencia y la eficiencia se representan en función del gasto de la bomba, a una velocidad constante del impulsor. El NPSH requerido también se representa en estas curvas, y en el caso de bombas con accionamiento de velocidad variable, se obtendrán Familias de Curvas.

#### IV.7.- Comportamiento de las Bombas Centrífugas.




En general, el comportamiento de una Bomba Centrífuga se presenta con la carga máxima desarrollada a flujo cero; los diferentes tipos de Bombas Centrífugas afectan la forma de la curva, que muestra disminución de la carga a medida que el flujo se incrementa; se construyen curvas similares para Eficiencia y potencia requerida y en general, los fabricantes integran cuando menos estas tres curvas en la información de diseño que proporcionan.

Las Curvas Características de las Bombas Centrífugas guardan una relación directa con el diseño empleado en su construcción. Existe una gran variedad de tipos, entre los más importantes:



1.- Según el patrón de flujo a través de la Bomba:

-  Flujo radial, donde el líquido se mueve a través del impulsor perpendicularmente al eje central de la flecha.
-  Flujo axial, el líquido se mueve a través del impulsor (llamado también propulsor en este caso), paralelamente al eje central de la flecha.
-  Flujo mixto, en donde el líquido se mueve a través del impulsor con componentes axiales y radiales, o en forma envolvente a la flecha.



2.- Según la disposición de las aspas del impulsor:

-  De impulsor abierto.
-  De impulsor semiabierto.
-  De impulsor cerrado.



3.- Por el tipo de succión del impulsor:

-  Succión simple.
-  Doble succión.




4.- Según la forma de desarrollar la carga:

-  De una etapa.
-  De varias etapas.

5.- Según la construcción de la carcaza:

-  Con difusores.
-  Sin difusores.

6.- Según la posición del equipo:

-  Bombas verticales.
-  Bombas horizontales.
-  Bombas de eje inclinado.

La única clasificación como se observa en los anteriores ejemplos, excluyente de las demás, es por el tipo de flujo. Con base en éste, se pueden representar Curvas Características típicas que ilustrarán el comportamiento de cada tipo con respecto a los parámetros indicados en la Figura IV.4.

#### IV.8.- Cómo Influyen las Características del Líquido en la Eficiencia.

Las condiciones o características del fluido a manejar, tienen efectos definitivos sobre la operación de las Bombas centrífugas. Sus propiedades por un lado afectan al modo constructivo del equipo y por otro, a la operación hidráulica, y por tanto, al rendimiento y a la potencia necesaria.

Se puede mencionar la corrosividad, temperatura a manejar, tamaño de partículas en el líquido, punto de fusión y ebullición, flamabilidad, explosividad y uso a que se destinará el líquido entre otras.



Mientras más características “desfavorables” tenga un líquido, mayores serán las exigencias constructivas en cuanto a materiales, tipo de impulsores, accesorios propios de la bomba, etcétera. Cabe preguntarse, ¿afectan a la Eficiencia estos factores?

La respuesta definitivamente es afirmativa. En la práctica, se tiene una limitada capacidad de elección, ello aunado a la prevalencia de criterios de “resistencia” sobre la Eficiencia, a la poca disponibilidad de los equipos y alto costo, esto hace que aunque se sepa qué bomba debe aplicarse no se puede obtener en el tiempo y condiciones óptimas. Sólo la previsión y la familiarización de los usuarios con el mercado podrá lograr un compromiso entre adecuación al uso, costo y eficiencia y empujará a los fabricantes a incrementar sus esfuerzos para mejorar el diseño de manera integral.

Hay otras propiedades de los líquidos que afectan a la Eficiencia; principalmente, la densidad relativa y la viscosidad; en cuanto a la primera, su efecto es el de variar proporcionalmente la potencia para operar el equipo; en cuanto a la viscosidad, al incrementarse ésta se tendrán reducciones en la Eficiencia de operación y la carga desarrollada, con el consecuente aumento de la energía para moverla. La conclusión de esa sección bien puede ser que deben conocerse y especificar correctamente los equipos existentes o por adquirir, cualquier esfuerzo en esta dirección redundará en beneficios de consideración.

#### IV.9.- Relaciones de Afinidad en Bombas.

Las características de afinidad, también llamadas relaciones características, permiten predecir el funcionamiento de una bomba bajo condiciones diferentes a las de operación actual; si se expresa como fórmulas dichas relaciones se tienen, para cambio de velocidad:

$$Q = (Q_R) \cdot (n/n_R)$$

$$H = (H_R) \cdot (n/n_R)^2$$

$$P = (P_R) \cdot (n/n_R)^3$$

donde :  $n$  = velocidad deseada.

$n_R$  = velocidad a la que se conocen los datos.

$Q$  = gasto a velocidad deseada.

$Q_R$  = gasto a velocidad.

$H$  = carga a velocidad deseada.

$H_R$  = carga a velocidad.

$P$  = potencia a velocidad deseada.

$H_R$  = potencia a velocidad.

Para el caso del diámetro del impulsor:

$$Q = (Q_R) \cdot (D/D_R)$$

$$H = (H_R) \cdot (D/D_R)^2$$

$$P = (P_R) \cdot (D/D_R)^3$$

donde :  $D$  = diámetro del impulsor a recortar.

$D_R$  = diámetro original.

Estas leyes se aplican exclusivamente en este caso a la bomba y no a todos los elementos del sistema; en muchos casos, los potenciales y expectativas de Ahorro producto de un diagnóstico, se calculan aplicando estas leyes al comportamiento total del sistema, con proyecciones demasiado optimistas y desencantos en los resultados.

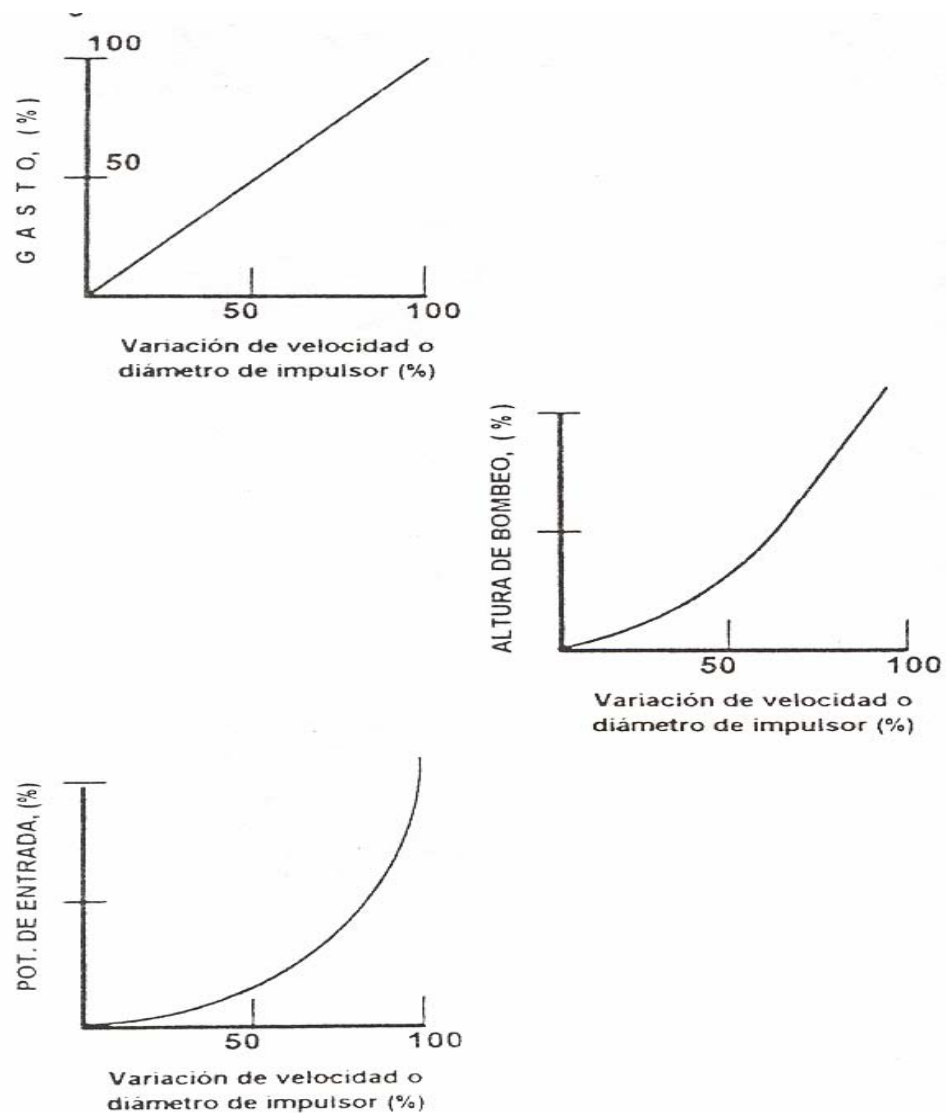


Figura IV.3.- Relaciones de Afinidad en Bombas Centrífugas.

IV.10.- Curvas Características. Tipos de Bomba y Efecto de Viscosidad.

En esta sección se ilustrarán gráficamente los comentarios anteriores, pero antes, se explicarán algunos conceptos relacionados directamente con las Curvas Características. Para un sistema en particular, la elección de un equipo se hace para un punto de la curva, lo más cercano posible al compromiso Gasto-Carga de la instalación; a ese que se denomina "Punto de Operación", y su ubicación en el área de Eficiencia debería idealmente, corresponder al máximo nivel alcanzable para el tipo y modelo seleccionado ya en operación.

En seguida se muestran las relaciones entre velocidad específica y tipo de bomba; en segundo lugar se incluye una gráfica de Curvas Características con puntos de operación comunes para ejemplificar los diferentes comportamientos de bombas según su tipo, y por último, se tiene la representación del efecto de la viscosidad en el funcionamiento de una bomba.

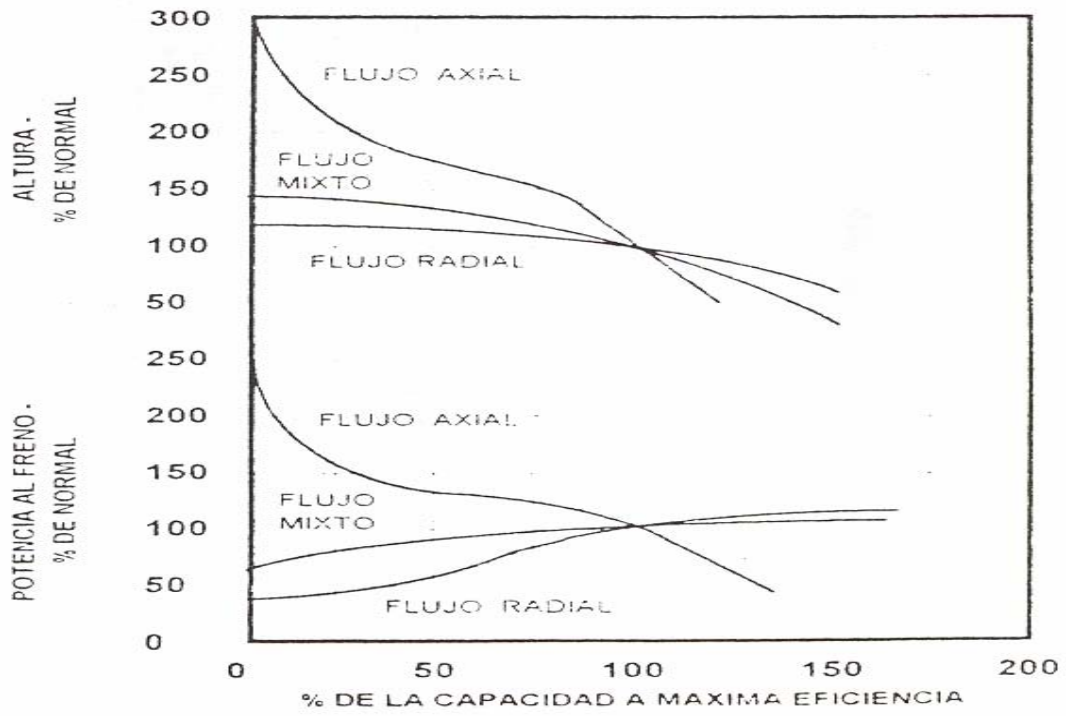


Figura IV.4.- Características H-Q y P-Q para varios Diseños de Bombas Centrífugas.

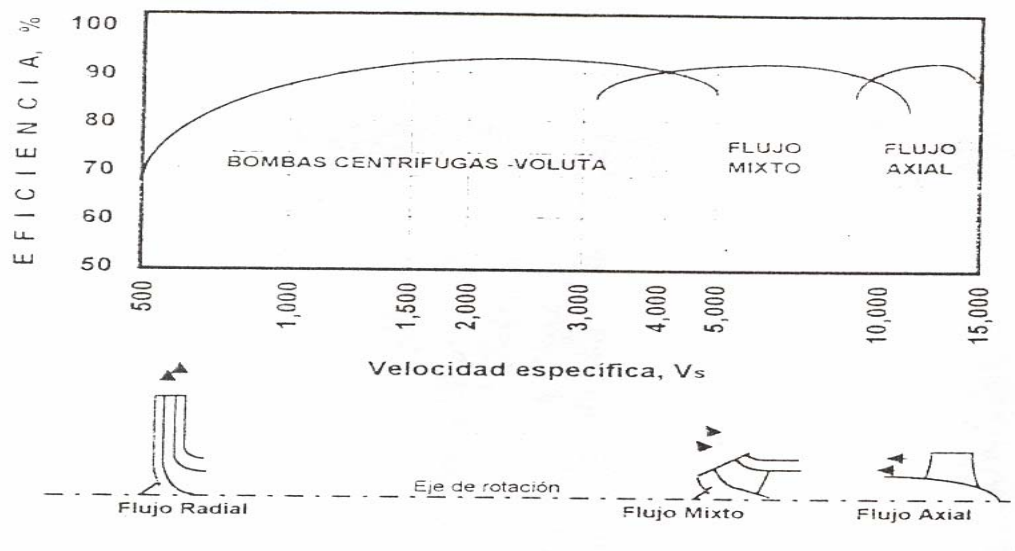


Figura IV.5.- La Eficiencia es Función de la Velocidad.

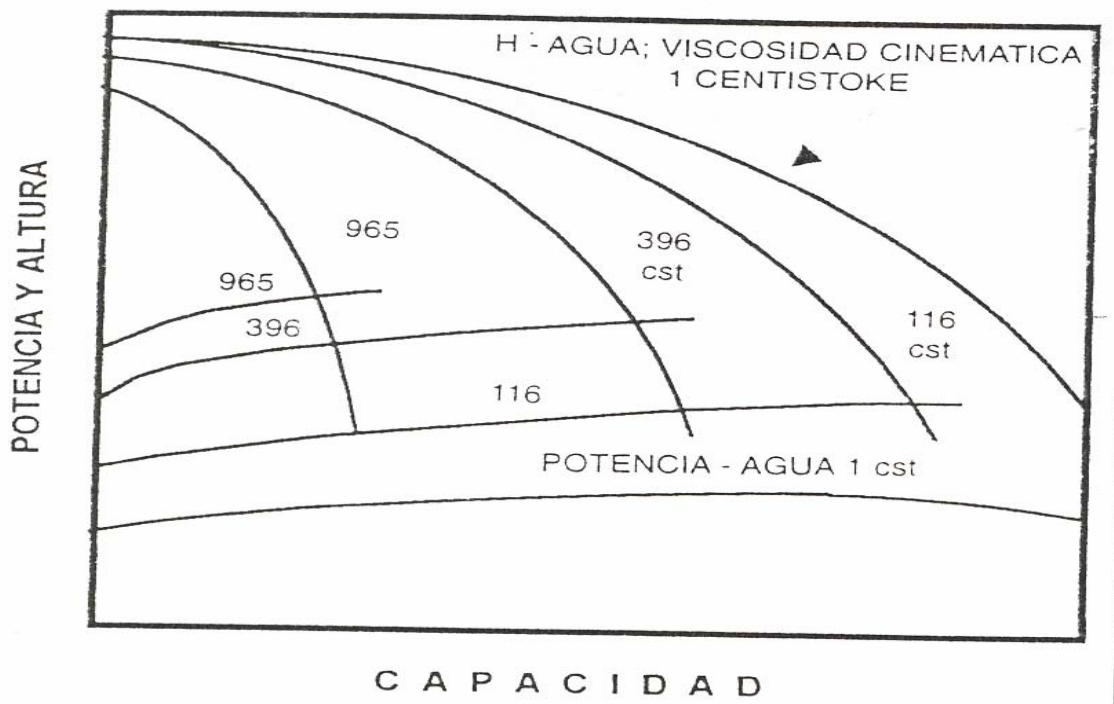


Figura IV.6.- Influencia de la Viscosidad en el Consumo de Energía.

#### IV.11.- Resistencia del Sistema.

La forma en la que opera una Bomba depende del sistema en el cual trabaja; las Curvas Características de la bomba muestran las relaciones entre la carga desarrollada por la bomba y el gasto entregado a velocidad constante; la Curva de Resistencia del sistema muestra la relación entre la carga de bombeo requerida y el flujo en las líneas de tubería; la intersección de ambas curvas indica la carga y gasto reales de operación de la Bomba; si los valores antes mostrados no corresponden a la zona de máxima Eficiencia de la Bomba, ello significa que la adecuación Bomba-Sistema presenta deficiencias; más adelante se discutirá en detalle lo anterior; sin embargo, es importante tener en cuenta que la Curva de Resistencia siempre se comporta de manera opuesta a la de funcionamiento de la Bomba, y de ahí, la relevancia de comprender los efectos que sobre la misma tendrán las modificaciones que más adelante se detallan. La Figura IV.7, muestra lo descrito en esta sección.

#### IV.12.- ¿De qué Eficiencia se Trata?

La Eficiencia de una Bomba, como tradicionalmente se entiende, está compuesta a su vez por una relación de Eficiencias, lo cual se explica si se considera que toda bomba requiere de un motor y una transmisión o de un acoplamiento entre ambos. Se distinguen cinco valores de Eficiencia en las Bombas Centrífugas:

1.- Eficiencia del Motor.- es la relación entre la Energía Eléctrica consumida y la Energía mecánica disponible en la flecha del motor:

$$e_m = (\text{kW de salida}) / (\text{kW tomados de la línea}).$$

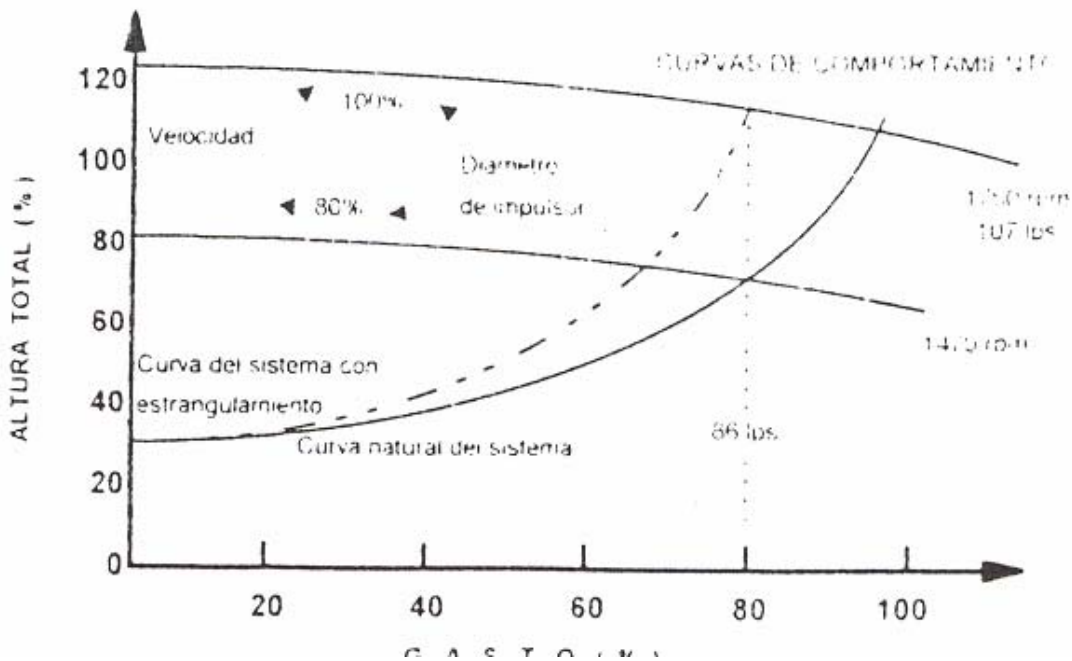


Figura IV.7.- Modificación de Curvas Características cuando Varía la Velocidad o el Diámetro del Impulsor.

2.- Eficiencia del Acoplamiento de transmisión.- Es la relación entre la Energía Mecánica de la flecha del motor y la Energía Mecánica en la flecha de la Bomba:

$$e_a = (\text{kW de la flecha de la bomba}) / (\text{kW de la flecha del motor}).$$

3.- Eficiencia de la Bomba.- Es la relación entre la Energía teórica necesaria para vencer una carga entregando un gasto determinado y la requerida en la flecha de la Bomba:

$$e_b = (Q) \cdot (H) \cdot (d) / (368) \cdot (P)$$

donde: Q = gasto, [m<sup>3</sup>/hora].  
 H = altura, [metros].  
 d = densidad, [kg/m<sup>3</sup>].  
 P = potencia al freno, [kW].

Esta Eficiencia es la indicada por los fabricantes y se encuentra en las Curvas Características de los equipos.

4.- Eficiencia Total del Conjunto.- Es igual a la Eficiencia combinada Bomba-Motor; es decir:

$$e_t = (e_b) \cdot (e_a) \cdot (e_m)$$

5.- Eficiencia Volumétrica.- Se define como la relación entre el desplazamiento (gasto) entregado y el que teóricamente puede entregar una Bomba para un cierto Punto de Operación:

$$e_v = (Q \text{ entregado}) / (Q \text{ teórico})$$

De acuerdo con lo anterior; la Energía que requiere la operación de una Bomba Centrífuga será igual al Gasto por la Carga desarrollada, dividida entre la Eficiencia del conjunto. Una expresión usada por los fabricantes es la siguiente:

$$\text{Potencia Requerida (kW)} = (\text{Gasto (gpm)}) \cdot (0.746 \text{ (kW/HP)}) / (3960 \text{ (gpm} \cdot \text{ft c.a. / HP)}) \cdot (e_t)$$

IV.13.- Identificar las Fuentes de Pérdida (factores que Afectan la Eficiencia).

En las Bombas Centrífugas, se identifican ciertas condiciones que afectan negativamente la Eficiencia del equipo:

1.- Diseño del Equipo.- Aunque en general, corresponde a los fabricantes mejorar el rendimiento de sus diseños de equipo; es importante conocer cómo se generan las pérdidas inherentes al principio de funcionamiento de los mismos.

2.- Pérdidas Volumétricas.- Existen diferentes tipos de Eficiencias para una Bomba Centrífuga; la Eficiencia Volumétrica que físicamente es indicativa de una recirculación de flujo del lado de alta presión al de baja presión del impulsor, aunque en general, estas pérdidas son pequeñas, pueden revestir importancia bajo algunas condiciones de desgaste o desajuste.

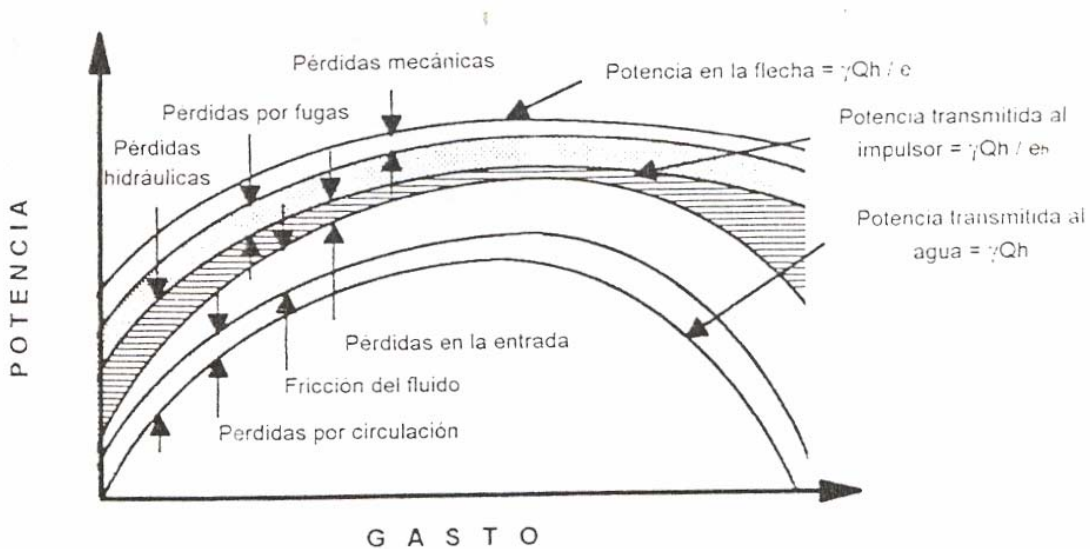


Figura IV.8.- Distribución de Pérdidas Inherentes al Diseño de Bombas Centrífugas.

3.- Pérdidas Hidráulicas.- Constituyen la diferencia entre la carga que podría obtenerse de la Energía disponible en el impulsor y aquella realmente desarrollada; las más significativas son por choque de entrada, generadas por el cambio de dirección del líquido (al pasar de la succión a las aspas del impulsor), pérdida que es más importante a bajas y altas cargas, y en el punto óptimo de funcionamiento es muy pequeña; en segundo lugar, se tiene la fricción del líquido al fluir por los canales del impulsor y varía aproximadamente al cuadrado del gasto manejado. Por último, se tiene la pérdida por flujo circulatorio a la salida, generada por la diferencia de presiones entre los lados de cada aspa, y cuyo efecto es reducir la velocidad promedio de salida del líquido con la consecuente pérdida de carga.

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

En la Figura IV.8, se muestran gráficamente estas pérdidas como funciones de Gasto y Carga.

a). Condiciones de Instalación.- Entre las condiciones de instalación que influyen negativamente en la Eficiencia del equipo de bombeo se puede citar, entre otras las siguientes:

*1.- Pérdidas de Motor y Acoplamiento.-* Aunque son externas a la Bomba Centrífuga, es conveniente saber que estos componentes influyen en la Eficiencia Global; aquí se refiere a los rendimientos básicamente, y que obedecen al diseño propio; sin embargo, es importante recalcar que el montaje apropiado de los mismos junto con el de la Bomba es necesario para asegurar la máxima eficiencia. Una deficiente alineación impone cargas adicionales sobre los cojinetes y deflexión en una o varias de las flechas del conjunto, ocasionando un mayor consumo de Energía por fricción y desbalanceo mecánico que provocando vibraciones dañinas para los equipos y para el rendimiento global.

La selección de los acoplamientos, debe hacerse con base en las características del equipo; en general, las condiciones de rendimiento se ven deterioradas por el uso de un reductor de velocidad del tipo que sea, contra un acoplamiento directo.

Una base poco rígida o con una fijación deficiente o bien sin aislante de vibraciones adecuado al tipo de Bomba o condiciones del lugar de instalación, muy posiblemente estará sujeta a vibraciones por encima de los límites de tolerancia, con efectos similares a los descritos para una mala alineación.

La temperatura del ambiente de trabajo también puede tener efectos en la Eficiencia, pues en el caso de los motores la reducirá a medida que sea más alta y en caso de ser muy extrema puede promover esfuerzos y deformaciones en los equipos, y es por ello, que deberá tomarse en cuenta al realizar el montaje y puesta en marcha, sobretodo permitiendo que se establezca antes de restringir el movimiento del conjunto.

*2.- Pérdidas en la Bomba.-* Las anteriores consideraciones son válidas también para la Bomba, con la particularidad de que en este caso, las vibraciones, movimientos y desbalances tienen consecuencias en la operación hidráulica, ya que se afectan tolerancias y cargas reduciendo la capacidad real del equipo y requiriendo por ello, una mayor potencia para su operación.

Puede producirse el fenómeno de cavitación al tener una NPSH disponible menor a la requerida; recuérdese que la cavitación se presenta cuando se evapora una fracción del líquido succionado debido a esa deficiencia de presión, ocasionando que se formen burbujas o bolsas de vapor que posteriormente son reabsorbidas en el líquido; la menor densidad de una mezcla líquido-vapor tiene como consecuencia, una reducción del volumen real bombeado y por tanto, de la Eficiencia; por otra parte, se inducen vibraciones y si el fenómeno es severo, puede causar daños internos a otras instalaciones y equipos, e incluso, la destrucción del impulsor.

*3.- Pérdidas por el Sistema.-* Las pérdidas inducidas por el sistema se refieren básicamente a aquellas por fricción y factores de forma o características físicas de sus componentes, así como al diseño general de conducciones.

b). Operación y Mantenimiento.- Existe una influencia definitiva de estos factores en la Eficiencia de los equipos; generalmente, el mantenimiento obedece a circunstancias de índole productiva, desaprovechando con ello las oportunidades que las actividades normales en una industria presentan para vigilar y optimizar la Eficiencia con los consecuentes beneficios económicos; en cuanto a la operación, puede afirmarse que salvo en equipos de gran tamaño, o en aquellos que son críticos, y paradójicamente, debido a su gran confiabilidad, los de bombeo centrífugo son de los que menor atención reciben; por ello el deterioro y las desviaciones de las condiciones de operación de diseño no son monitoreadas hasta que afectan la producción o los servicios. A continuación, se detallan algunas situaciones que influyen en detrimento de la Eficiencia.

*1.- Adecuación al Uso.-* El equipo de bombeo tiene por diseño distintas eficiencias bajo diferentes condiciones de operación; la situación ideal sería que el equipo operara en un sistema que tuviese un Punto de Operación en la zona de máxima Eficiencia; sin embargo, en la práctica, esta condición es más bien inusual; en efecto, las modificaciones a los sistemas de conducciones o aún a unidades enteras de proceso, no consideran muchas veces la adecuación de los equipos, suponiendo que hubieran estado correctamente dimensionados antes de la modificación; se toma en cuenta sólo si la capacidad de la Bomba es suficiente o sobrepasa las nuevas condiciones en cuestión de gasto, carga o ambas; ello es evidencia de un sobredimensionamiento generalizado de los equipos.

Otra situación que tiene el mismo efecto es el de dimensionar para el máximo flujo una instalación que no tenga la flexibilidad suficiente para proporcionar diferentes gastos o cargas; lo anterior es crítico en sistemas con una sola bomba.

La cuestión del sobredimensionamiento en estos equipos, obliga necesariamente a un desempeño de Energía, bien sea por limitar mediante válvulas o recirculación el flujo destinado al sistema; en lograr la adecuación de los equipos a las nuevas o reales condiciones de operación, ya sea mediante controles de velocidad, modificaciones o combinaciones de ambos, estriban generalmente las mayores oportunidades de Ahorro en una Instalación Industrial, y es por ello que recibirán tratamiento aparte en otras secciones de este capítulo.

*2.- Motores.-* Los motores eléctricos, al estar acoplados a Bombas Centrífugas, sufren en buena medida la falta de atención ya comentada; su correcta aplicación y un mantenimiento adecuado, habida cuenta de que se tiene una instalación correcta, bastarán en la mayoría de los casos para obtener de ellos el máximo de Eficiencia; también en estos equipos es frecuente el sobredimensionamiento.

*3.- Acoplamiento.-* En este componente ocurren situaciones similares a los descrito para motores; como comentario adicional debe decirse que el tipo de acoplamiento tiene una influencia definitiva; se distingue entre el directo y por medio de transmisión.

En el caso de Bombas Centrífugas, y salvo situaciones especiales, el acoplamiento directo es lo más indicado debido a la mayor Eficiencia y simplicidad de instalación, aunado a la gran versatilidad de equipo en el mercado, no debe olvidarse que estos acoplamientos, si bien de construcción simple e incluso rudimentaria en algunos casos, requieren de mantenimiento para conservar sus buenas condiciones operativas; esto es particularmente importante en el caso de coples flexibles, dado que absorben cargas por desalineamiento para las cuales el libre movimiento de sus partes es lo que evita deflexiones y vibraciones a las flechas acopladas.

Un problema recurrente en estos coples es el sobredimensionamiento que influye en su tamaño físico y rigidez, con la consecuente pérdida de Eficiencia por fricción y vibraciones indeseables.



En los casos de transmisiones de banda, cadenas o reductores mecánicos o hidráulicos, el servicio continuo requiere de una atención mayor en puntos tales como tensión de bandas, desgaste en engranes, alineamiento y lubricación según necesidades.

4.- *Bomba*.- En el caso de la Bomba, como en el de los componentes ya tratados, no puede exagerarse en cuanto a la conveniencia de un Programa de Mantenimiento y Monitoreo adecuado a las necesidades del equipo y al servicio prestado. Las Bombas no son “una caja negra” y están compuestas de una serie de elementos fijos y móviles con influencia definitiva en su funcionamiento y por tanto, en su Eficiencia. A continuación, se tratarán los principios de estos elementos, así como de los problemas que afectan a la Eficiencia:

i). *Base Bomba-Motor*.- La base del conjunto debe tener la rigidez y la masa adecuada, y estar bien aislada de influencias externas como vibraciones o impactos; la vibración inducida por una base inadecuada genera distorsiones que a su vez, incrementan el consumo de Energía, por la mayor fricción en sus partes móviles.

ii). *Carcaza*.- Este componente aun siendo el más obvio, recibe la menor atención de parte de los usuarios; se supone erróneamente que su función se limita a contener al líquido, cuando en realidad forma un canal de circulación para la salida del mismo; generalmente, recibe atención cuando se presenta una fuga; sin embargo, la influencia en la Eficiencia de la Bomba es definitiva.

Generalmente, de fundición metálica, presentan algunas imperfecciones inherentes al proceso de manufactura; para minimizar el problema de erosión, así como la rugosidad de la superficie interna, una gran parte de las bombas que se fabrican y prácticamente todas las de servicio de agua se pintan por dentro en la fábrica; el descuido generalizado en el interior de las carcazas, e incluso, la remoción intencional de esta pintura por desconocimiento de su función causan la nula protección ante agentes corrosivos y una mayor rugosidad que se traduce en menor carga disponible, con el efecto de reducir la Eficiencia del equipo.

Aún en la tradicional inspección visual, pueden pasar inadvertidas pequeñas grietas o poros que si se localizan en puntos cercanos a la zona de succión, no crearán ningún efecto visible y sí afectarán la Eficiencia de la Bomba por la entrada de aire, con una elevación considerable de la Energía necesaria para lograr la carga; la instrumentación sencilla permite detectar oportunamente este problema.

Otra parte a considerar son los sellos o empaques de las conexiones físicas entre la Bomba y la tubería de succión, que en caso de instalación deficiente pueden generar el mismo problema descrito.

En cuanto a los empaques de la unión de la caracaza, es muy importante conservar la consistencia y el espesor originales, ya que un empaque demasiado grueso puede provocar fugas y/o filtraciones de aire, mientras que uno demasiado delgado, puede disminuir el juego entre piezas móviles y fijas, incrementando la fricción, y por tanto, reduciendo la Eficiencia.

iii). *Cajas de Empaques o Sellos*.- En la actualidad, se ha incrementado el uso de sellos mecánicos en bombas para todos los usos; sin embargo, las bombas con estopeo constituyen todavía una parte importante del parque instalado, e incluso hay servicios en los cuales los sellos mecánicos son indeseables; al respecto y en relación con la Energía, se dirá que el adecuado material e instalación del estopeo, especialmente el ajuste de fuga, tienen gran influencia en el rendimiento mecánico de la Bomba, dado que se encuentra en contacto directamente con la flecha; así se produce una fricción que en caso de resultar excesiva, aumentará el consumo de Energía y tendrá efectos destructivos en la flecha.

Algunos sellos mecánicos permiten la operación sin fugas aun con una parte dañada, lo cual genera arrastre entre caras que provoca vibraciones, daño mecánico y un mayor consumo de Energía; en otros casos, la intromisión de materias extrañas entre ambas caras genera también una fricción excesiva antes de la falla, por lo que su revisión periódica al igual que en el caso anterior debe ser implantada de manera permanente.

iv). *Impulsor*.- El paso del líquido, sea cual fuere, por las superficies del impulsor, provoca una erosión que incluso puede llegar a comunicar entre sí, canales de flujo dentro de él, con efecto recirculatorio y por tanto, en detrimento de su Eficiencia; así mismo, el montaje inadecuado en cuestión de tolerancias puede ocasionar que la cara de asiento o en su caso los anillos de desgaste, sean sometidos a fricción excesiva que genera grandes pérdidas de energía y alto consumo por lo tanto. La erosión y la constante pérdida de material, generan también problemas de vibración y desbalanceo hidráulico aun sin la comunicación entre canales antes mencionada.

v). *Flechas*.- Las flechas de las Bombas centrífugas, junto con sus cojinetes, están sujetas a los mayores esfuerzos, ya que directa o indirectamente se ven afectadas por muchas de las situaciones ya citadas; su forma las hace más susceptibles a fallas y deformaciones, ocasionando vibraciones y contactos entre partes fijas y móviles, con la pérdida de energía consecuente.

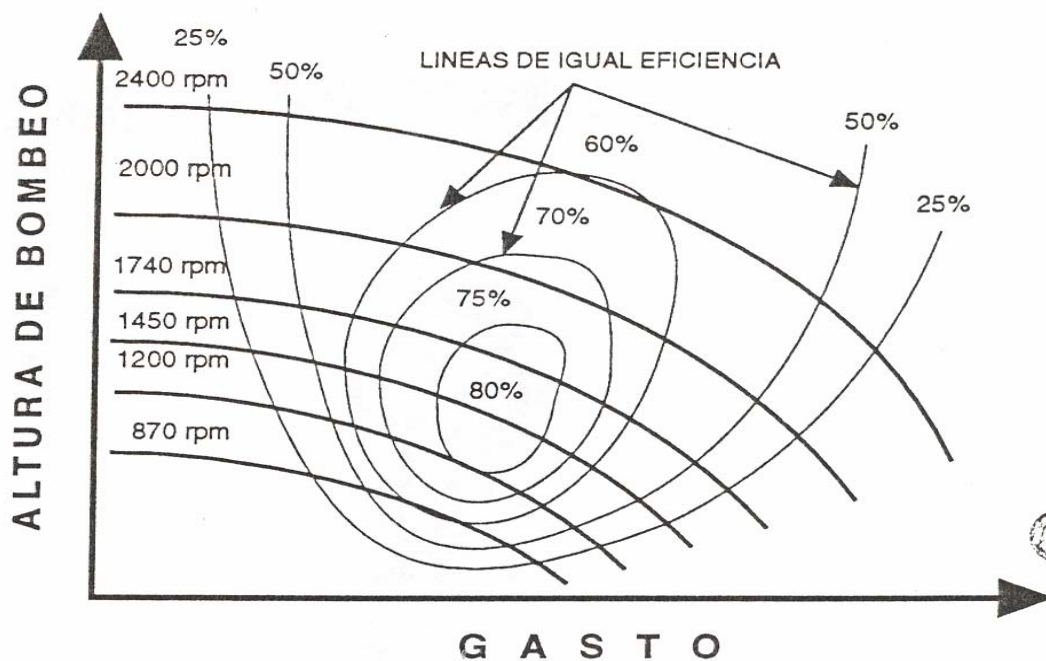


Figura IV.9.- Características de una Bomba a Diferentes Velocidades de Rotación.

#### IV.14.- Modificación de Características de Operación Originales para Incrementar la Eficiencia.

Como se mencionó en su oportunidad, la no adecuación del equipo al sistema en el cual trabaja, es tal vez, el principal causante del desperdicio de Energía en instalaciones de bombeo; para emplear los equipos existentes mejorando su Eficiencia se puede, en el caso de las Bombas, proceder de dos maneras:

1.- *Con Accionamiento de Velocidad Variables.*- A partir de las curvas de operación del equipo existente y empleando las relaciones de afinidad, se puede predecir el comportamiento del equipo y estimar su consumo de energía modificado; generalmente, en el caso de equipos sobredimensionados, aun y cuando la reducción de velocidad implique la reducción de eficiencia, el menor consumo global hará rentable esta operación.

Por otro lado, la flexibilidad impartida al sistema con este control tiene otras ventajas de índole económico que apoyarán la decisión de adquirirlo.

Las relaciones de afinidad son más precisas para predecir comportamientos a velocidades más bajas que la actual, y ello dentro de un rango moderado (aproximadamente de 20 a 30%, según el Fabricante).

2.- *Recorte del Impulsor.*- El recorte de impulsor es una técnica empleada desde hace mucho tiempo por los proveedores de bombas para cubrir las lagunas de las líneas de fabricación; de nueva cuenta se enfatiza que las relaciones de afinidad permitirán saber si recortando el impulsor se tendrá un Punto de Operación, que sea adecuado, recordando siempre que existe un máximo permisible del 20% del tamaño máximo para bombas de voluta y 10% para bombas de difusores.

En caso de ser adecuado el recorte, resulta la opción más económica para lograr un Ahorro de Energía, ya que es equivalente al uso de un variador de velocidad (ASD).

#### IV.15.- Identificar las Áreas de Oportunidad.

Según se expresó en el párrafo anterior, existen diferentes áreas de oportunidad que deben analizarse y valorarse al intentar mejorar estos equipos; a continuación, se agrupan en orden de importancia:

- ✿ Adecuación Equipo-Sistema.
- ✿ Revisión y en su caso, corrección de las instalaciones existentes para el equipo.
- ✿ Mejorar prácticas operativas.
- ✿ Sistematizar prácticas de mantenimiento.
- ✿ Instalar instrumentación y establecer monitoreo.
- ✿ Especificar correctamente nuevos equipos.
- ✿ Elaboración y análisis de Curvas características no existentes.

#### IV.16.- ¿Se Carece de Información Técnica sobre el Equipo de Bombeo?

Aunque es deseable poseer información directa del Fabricante, ello no siempre es posible, sí se puede obtener datos como marca, modelo y velocidad del motor de su bomba, así como dimensionar croquis y diámetro del impulsor, es muy posible que el Proveedor autorizado pueda proporcionarle copia de la Curva Característica del equipo, así como otros datos técnicos publicados por el Fabricante.

Si tampoco se tienen esos datos, se pueden construir de manera sencilla las Curvas de Funcionamiento. El procedimiento básico es:

- ◆ La bomba deberá instrumentarse con medidores de presión a la Entrada y la Salida.
- ◆ También es necesario un medidor de flujo o forma confiable de estimarlo, como puede ser un tanque o losa graduado y un cronómetro.
- ◆ La medición de velocidad puede hacerse con tacómetros de contacto, lámpara estroboscópica u otros instrumentos comúnmente encontrados en los talleres de plantas industriales o bien estimarse a partir de datos de placa de motor y/o reductor.
- ◆ Es deseable medir la tensión y Factor de Potencia, así como la corriente que toma el motor durante todo el procedimiento.
- ◆ Póngase en marcha la bomba revisando que el sistema esté libre de obstrucciones y fugas, especialmente en la tubería de succión, y con la válvula de descarga totalmente abierta.
- ◆ Círrrese lenta y gradualmente la válvula de descarga de la bomba hasta llevarlo al punto de flujo cero, o válvula totalmente cerrada. Debe contarse el número de vueltas necesarias para cerrar la válvula completamente desde la posición de totalmente abierta.
- ◆ Divídase la carrera en cuando menos cinco partes iguales y procédase a efectuar mediciones de presión, flujo y corriente en cada uno de los intervalos, incluyendo el de válvula cerrada; esperar a que el sistema se estabilice antes de proceder a cada una de las mediciones.
- ◆ Graficar el Gasto contra la Presión convertida a metros de columna de agua, se tendrá la Curva Característica de la bomba.
- ◆ La medición de la corriente permitirá estimar la potencia y por tanto, la eficiencia del conjunto, recordando que se conocen los requisitos técnicos de potencia.
- ◆ La velocidad es constante, por lo que sólo se requerirá medirla una vez.
- ◆ Si se desacopla la bomba del sistema, y se procede a descargar mediante un tubo corto después de la válvula (longitud aproximada de 8 diámetros), se podrá construir la Curva completa al regular incluso cargas cercanas a cero.

Como toda prueba de campo, existen márgenes de error mayores que los de un Fabricante en su Laboratorio; la presión es menos importante que la continuidad en las lecturas y en los resultados para comprobar los datos y cambios en rendimiento.

#### IV.17.- Es Conveniente Monitorear.

La importancia de la instrumentación y la revisión sistemática del equipo de bombeo, radica en que permite tomar decisiones y evaluar acciones en cuanto a operación, mantenimiento y optimización; en efecto, pocos equipos requieren de un monitoreo tan simple como las Bombas Centrífugas y una forma de llevarlo a cabo podría ser empleando las herramientas descritas en la sección anterior; según el servicio, las posibilidades económicas y el tamaño del equipo, podrán adicionarse equipos para registro automático, medición de vibraciones, medición de temperatura de aceite de lubricación o cajas de empaques, niveles de ruido, etcétera; e incluso conectarse a sistemas de control con acciones definidas; el principio sigue siendo el mismo sin importar la complejidad del monitoreo. La Presión Diferencial entre dos puntos del Sistema puede ser un índice de gasto si no hay medición.

#### IV.18.- ¿Nueva Instalación?, ¿Equipos Existentes?

Es conveniente diferenciar entre instalaciones por realizarse y las existentes. Hasta aquí, se ha hecho referencia básicamente al segundo caso por ser el más frecuente en la Industria.

En cuanto al caso de instalaciones nuevas; la clave está en especificar adecuadamente los equipos; para ello es necesario comprender el comportamiento de los mismos y el servicio al cual estarán sometidos en condiciones reales lo cual implica un estudio serio del proyecto o problema a resolver; el criterio energético no está refinado con la economía, como suele pensarse erróneamente; el costo superior de los equipos con mayor rendimiento es en gran parte sólo aparente, si se toman en cuenta gastos operativos, pues es ahí donde rinde frutos a la industria el Ahorro de Energía; así, se puede especificar lo siguiente:

1.- *Dimensiones para las Condiciones de Operación.*- Cualquier sobredimensionamiento tanto en la bomba como en el motor, o en ambos como frecuentemente ocurre, lejos de dar una mayor flexibilidad por capacidad excedente, afecta las decisiones que en algunos casos tienen como punto principal de apoyo precisamente en lo sobrante, invirtiéndose el proceso lógico de Toma de Decisiones; la capacidad excedente tiene también efectos que menguan las acciones de operación y el mantenimiento, pues al deteriorarse el equipo o ser mal operado y seguir llenando los requisitos de Carga-Gasto, serán retardadas las acciones correctivas, causando daños irreversibles.

2.- *Seleccionar Equipo Adecuado al Servicio Requerido.*- Existen en el mercado modelos que se adaptan mejor que otros a diversos usos; piénsese en que el esfuerzo e inversión empleados por los fabricantes para construir tales modelos, obedece a ventajas de tipo operativo y funcional que hacen atractiva la adquisición de los equipos, además en tales desarrollos hay experiencia de muchos casos en industrias similares; así un equipo incluso más complejo y eficiente en términos de diseño, podría ser deficiente en otra aplicación; lo anterior se aplica a características del líquido a bombear, condiciones de trabajo y confiabilidad requeridas.

3.- *No perder de Vista Prioridades.*- resulta antieconómico especificar pruebas o condiciones demasiado estrictas al equipo si ello es absolutamente necesario en las condiciones de operación; de la misma manera, el esfuerzo de especificación debe concentrarse en los principales consumidores de energía y no en pequeños equipos de servicio intermitente o eventual que incluso podrían ser de fabricación especial.

4.- *Analizar con Criterio Energético situaciones Especiales.*- En ocasiones se tendrán sistemas que impongan cargas pico de poca o media duración, mientras que el resto del tiempo, los requisitos de potencia son menores; en tales casos, podría pensarse en un Variador de Velocidad o en un motor de dos velocidades por ejemplo de sde la fase de diseño; por supuesto la bomba debe especificarse manteniendo un compromiso entre Cargas-Régimen-Eficiencia para lograr el mayor rendimiento promedio posible.

5.- *Reservar Recursos para el Monitoreo.*- En toda instalación nueva, debería haber un monitoreo por sencillo que este fuera, pues con las ventajas mencionadas se justifica la inversión en este rubro, lo cual es difícil en cualquier otro momento.

#### IV.19.- ¿Cuánta Energía proporciona el Equipo de Bombeo?

Como se observó en las Curvas de Eficiencia-Velocidad Específica, las bombas pueden alcanzar Eficiencias superiores al 90%; ellos se aplica particularmente a bombas de gran tamaño o de diseño especial. Sin embargo, para la mayoría de los equipos de bombeo en la industria de tamaño pequeño y mediano se puede hablar de promedios de entre 55 y 85%; si se consideran Eficiencias de transmisión de entre un 98% en algunos acoplamientos directos y hasta un 90% en transmisiones rudimentarias de Polea-Banda, y por último, Eficiencias en motores eléctricos estándar entre 80 y 90%, se tendrá que la eficiencia del conjunto según lo comentado estaría entre 40 y un 75%; es decir, aun en el mejor de los casos, una cuarta parte de la Energía se pierde, y la Eficiencia de la bomba es la principal responsable; hasta aquí se ha hablado de equipos dimensionados de acuerdo al sistema. En el caso de sobredimensionamiento, donde se restringe el flujo mediante estrangulación, la energía perdida según las condiciones prevalentes de operación en la industria pueden llegar fácilmente al 40% en equipos de capacidad media.

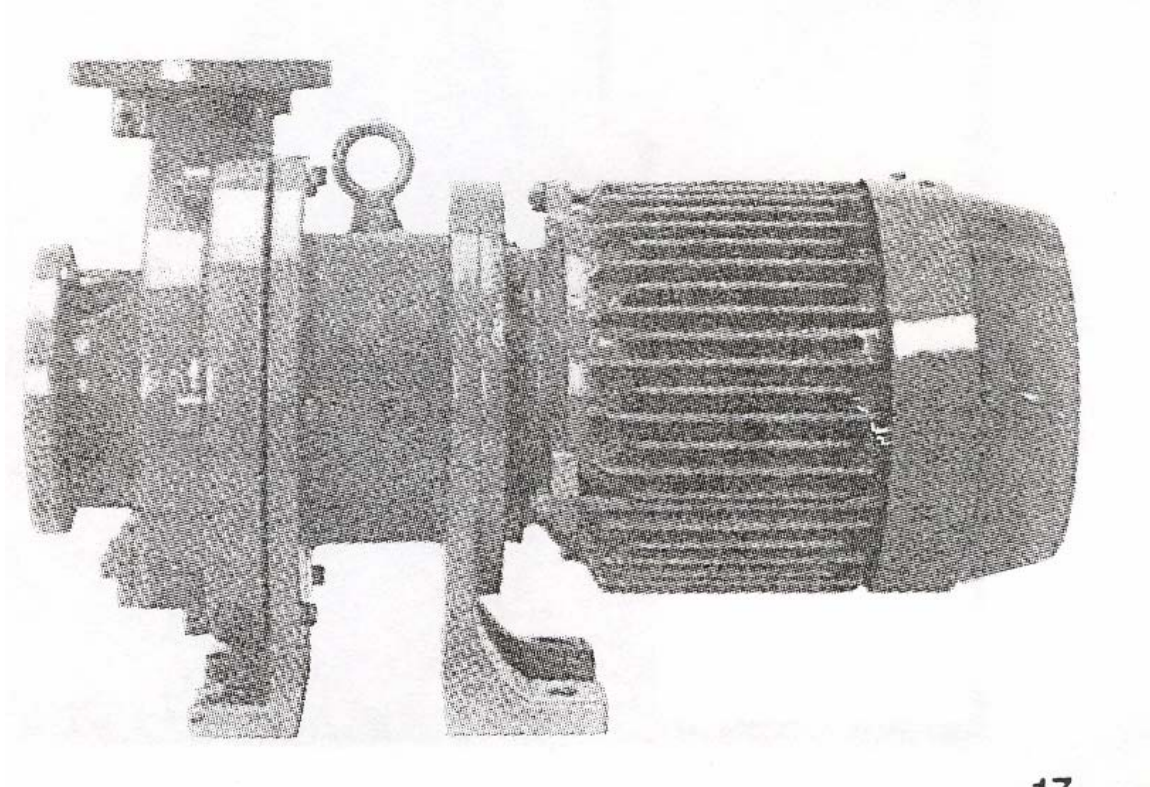


Figura IV.10.- Bomba Centrífuga.

17

## CAPÍTULO V.

### **AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS.**

#### V.1.- Introducción.

Alrededor del 70% del consumo de la Energía Eléctrica generada se debe al funcionamiento de los motores eléctricos. Incontables ejemplos de su aplicación, se tienen en la Industria, el Comercio, los Servicios y el Hogar.

Es significativo el hecho de que los motores eléctricos, suministran en su mayor parte, la energía que mueve los accionamientos industriales, por lo que la operación y conservación de los motores en la Industria, representa unos de los campos más fértiles de oportunidades en el Ahorro de Energía, que se traducen en una reducción en los costos de producción y en una mayor competitividad.

El Ahorro de Energía comienza desde la selección apropiada de los motores. Siempre hay uno adecuado a las necesidades que se tienen, tanto en lo que respecta a su tipo por condiciones ambientales de operación, por condiciones de arranque o regulación de velocidad, así como por su tamaño o potencia. Los mayores Ahorros de Energía Eléctrica se obtienen cuando el motor y su carga operan a su máxima Eficiencia.

#### V.2.- ¿Qué es la Eficiencia en un Motor?

La eficiencia o Rendimiento de un motor eléctrico es una medida de su habilidad para convertir la potencia eléctrica que toma de la línea en potencia mecánica útil. Se expresa usualmente en por ciento de la relación de la potencia mecánica entre la potencia eléctrica, estos es:

$$\text{Eficiencia} = (\text{Potencia Mecánica}) / (\text{Potencia Eléctrica}) * 100$$

No toda la Energía Eléctrica que un motor recibe, se convierte en Energía Mecánica. En el proceso de conversión se presentan pérdidas, por lo que, la Eficiencia nunca será del 100%. Si las condiciones de operación de un motor son incorrectas o éste tiene algún desperfecto, la magnitud de las pérdidas, puede superar con mucho las de diseño, con la consecuencia disminución de la Eficiencia.

Para calcular la Eficiencia, las unidades de las potencias deben ser iguales. Como la potencia eléctrica se expresa usualmente en kW, en tanto que la potencia mecánica en HP, las siguientes equivalencias son útiles para la conversión de unidades:

$$\begin{aligned} 0.746 \text{ kW} &= 1 \text{ HP} \\ 1 \text{ kW} &= 1.34 \text{ HP} \end{aligned}$$

Emplear motores de mayor Eficiencia, reduce las pérdidas y los costos de operación. Para calcular la Potencia Ahorrada, (PA) se aplica la siguiente expresión:

$$PA = (0.746) * (\text{HP}) * [(100/E_1 - 100/E_2)] \text{ las unidades son kW.}$$

donde: 0.746 es el factor de conversión de HP a kW.

HP significa Caballos de Potencia.

E<sub>1</sub> es la Eficiencia del motor de rendimiento menor.

E<sub>2</sub> es la Eficiencia del motor de rendimiento mayor.

Los incrementos que han experimentado el costo de los energéticos a nivel mundial, han orientado a los Fabricantes de motores a lograr principalmente motores de alta Eficiencia, con rendimientos de hasta un 96% y cuyo costo adicional sobre los convencionales se puede pagar rápidamente con los ahorros que se tienen en el consumo. Vale la pena considerar su utilización.

### V.3.- El Cuidado con las Reparaciones.

La reparación inadecuada de un motor puede ocasionar un incremento en las pérdidas y adicionalmente en los motores de corriente alterna, la reducción del Factor de Potencia. Todo esto conduce a una disminución de su Eficiencia.

Por ejemplo, un motor que sufrió un desperfecto en su devanado y que por ello, hay que rebobinarlo, puede disminuir su Eficiencia considerablemente, si durante el proceso de reparación se presenta:

- Calentamiento desmedido del hierro al quitar el devanado.
- Daños en las ranuras al quitar el devanado dañado y montar el nuevo..
- Diferente calidad y calibre de alambre.
- Diferente número de vueltas.
- Daños a los cojinetes y mal alineamiento de éstos.
- Mayor tiempo de secado final.

Por esto es importante que cuando un motor sea reparado, los trabajos los efectúe Personal Calificado para garantizar que la reparación sea realizada correctamente y que los materiales empleados sean de calidad igual o superior a los originales.

La misma atención se debe prestar a las partes eléctricas del motor, como a los componentes mecánicos; tales como los cojinetes, el eje y el sistema de ventilación o enfriamiento. Con frecuencia, los daños que sufren los devanados tienen su origen en desperfectos mecánicos.

Un motor mal reparado al ser instalado nuevamente, gastará más energía que antes. Cuando los daños sean mayores puede resultar más económico sustituir un motor que repararlo.

### V.4.- Motores Eléctricos y el Factor de Potencia.

Los motores de inducción por su simplicidad de construcción, su velocidad prácticamente constante, su robustez y su costo relativamente bajo, son los motores más utilizados en la Industria. Sin embargo, tienen el inconveniente de que aún en óptimas condiciones consumen potencia reactiva (kVAR), por lo que son una de las causas principales del bajo Factor de Potencia en las instalaciones industriales.

El Factor de potencia es indicativo de la Eficiencia con que se está utilizando la Energía Eléctrica para producir un Trabajo útil. Se puede definir como el por ciento de la relación de la Potencia Activa (kW) y la Potencia Aparente o Total (kVA):

$$\text{Factor de Potencia} = (\text{kW}) / (\text{kVA}) * 100$$

Un bajo Factor de Potencia significa Energía desperdiciada y afecta a la adecuada utilización del sistema eléctrico. Por esta razón, en las tarifas eléctricas, se ofrece una reducción en las facturas de electricidad en instalaciones con un Factor de Potencia mayor del 90%, y también se imponen multas, si el Factor de potencia es menor que el 90%.



Un usuario operando con un Factor de Potencia de 80%; valor que se encuentra con frecuencia en Instalaciones Industriales, tiene que pagar un recargo del 7.5% sobre el monto de su cuenta de electricidad, recargo que puede alcanzar la cantidad de 120%, en caso extremo de tener un Factor de Potencia del 30%

Ya que los motores de inducción son una de las causas principales del bajo Factor de Potencia, se pueden tomar las siguientes medidas para corregirlo:

- ◆ Selección justa del tipo, potencia y velocidad de los motores que se instalan.
- ◆ Empleo de motores trifásicos en lugar de monofásicos.
- ◆ Aumento de la carga de los motores a su potencia nominal.
- ◆ Evitar el trabajo prolongado en vacío de los motores.
- ◆ Reparación correcta y de alta calidad de los motores.
- ◆ Instalación de capacitores en los circuitos con mayor número de motores o en los motores de mayor capacidad.

Corregir el bajo Factor de Potencia en una instalación es un buen negocio, no sólo porque se evitarán los cargos en la facturación que esto origina, sino porque los equipos operarán más eficientemente, reduciendo los costos por consumo de energía.

#### V.5.- Administración de la Demanda.

Las tarifas eléctricas para la Industria, además del cargo por consumo de energía (kW/hora), hacen un cargo por demanda máxima (kW), que es importante en la facturación. La demanda es registrada por un medidor conforme a la potencia de todos los motores, lámparas y otros aparatos eléctricos funcionando simultáneamente durante un lapso de 15 minutos.

Evitar el arranque y la operación simultánea de los motores y otros equipos eléctricos, sobretudo en el periodo de pico máximo ( de las 18 a las 22 horas), se traduce en Ahorros de Energía significativos. Otra opción es la extender los turnos de trabajo, repartiendo la operación de los motores y otros equipos en más horas de labores, fuera del periodo de punta. Las cargas por consumo de energía eléctrica pueden ser prácticamente iguales, pero por demanda máxima pueden reducirse de manera importante.

#### V.6.- Un Ejemplo de Área de Oportunidad.

Como se ha mencionado, los mayores Ahorros de Energía se obtienen cuando el motor y su carga trabajan a su máxima Eficiencia. Un ejemplo que presenta buenas oportunidades de ahorro, se tiene en los equipos de aire comprimido.

Las fugas de aire en uniones de tuberías y mangueras, válvulas de seguridad de los depósitos acumuladores, válvulas de corte (que hacen mal cierre), herramientas neumáticas y otros equipos, representan pérdidas de hasta un 50% en instalaciones descuidadas; constituyen una carga inútil del motor y un desperdicio de energía, que puede reducirse notoriamente, mediante la corrección y sellado sistemático de los puntos de escape.

Es primordial que la potencia del motor acoplado al equipo de compresión de aire corresponda a la potencia requerida por éste. La Eficiencia cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Además, un motor de inducción sobredimensionado, demandará una mayor potencia reactiva, con la consiguiente disminución del Factor de Potencia.

#### V.7.- Motivar al Personal de la Organización a Ahorrar Energía.

Ahorrar Energía es tarea de todos, y de todos los días. Porque de no hacerlo, quizá a futuro ya no exista Energía qué Ahorrar. Los resultados que se obtengan de cada Empresa, en cada hogar, con cada usuario; contribuirán a asegurar un mejor futuro, particular y colectivo.

Se debe establecer una campaña permanente de Ahorro de Energía en las instalaciones, dentro de la cual es fundamental concientizar al Personal. Se debe motivarlo a que participe activamente y se tome en cuenta su opinión y sugerencias. Muchas de ellas pueden representar verdaderas oportunidades de Ahorro de Energía.

#### V.8.- Recomendaciones Generales.

1.- Elegir correctamente la potencia del motor. El rendimiento máximo se obtiene cuando éste opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal y cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Adicionalmente, los motores de inducción a cargas bajas o en vacío tienen un Factor de Potencia muy bajo.

2.- Seleccionar el motor de acuerdo con su ciclo de trabajo. Operar un motor para servicio continuo, en accionamientos de operación intermitente, con frecuentes arranques y paros, ocasiona una depreciación de sus características de operación y Eficiencia. Además de que puede dañar el aislamiento de los devanados por la elevación de la temperatura.

3.- Seleccionar el armazón del motor, de acuerdo con el ambiente en que va a estar trabajando. Los motores abiertos son más sencillos y por lo tanto, menos costosos. Además de operar con mayor Factor de Potencia. Sin embargo, en condiciones adversas del medio, los motores cerrados están indicados.

4.- Seleccionar correctamente la velocidad del motor. Si la carga lo permite preferir motores de alta velocidad, son más eficientes y si se trata de motores de c-a, trabajan con un mejor Factor de Potencia.

5.- Utilizar motores de inducción trifásicos en lugar de monofásicos. En motores de potencia equivalente, su Eficiencia es de 3 a 5% mayor y su Factor de Potencia mejora notablemente.

6.- Utilizar motores síncronos en lugar de motores de inducción. Cuando se requieren motores de gran potencia y baja velocidad, la elección de un motor síncrono debe ser considerada. Compare en costo con un motor de inducción de características similares, su Eficiencia es de 1 a 3% mayor, su velocidad es constante y contribuye a mejorar el factor de Potencia de la instalación.

7.- Sustituir los motores antiguos o de uso intenso. Los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su uso han depreciado sus características de operación, pueden justificar su sustitución por motores normalizados y de altas eficiencias.

8.- Efectuar correctamente la instalación eléctrica y el montaje de los motores y su carga. Las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas en su capítulo referente a motores, y las recomendaciones de los fabricantes son consulta obligada para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos.

9.- Realizar en forma correcta la conexión a Tierra de los motores. Una mala conexión o la ausencia de ésta, puede poner en peligro la vida de los operarios si se presenta una falla a Tierra. Además de ocasionar corrientes de fuga que no son liberadas por el equipo de protección con un desperdicio de energía.

10.- Evitar concentrar motores en locales reducidos o en lugares que puedan dificultar su ventilación. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de su Eficiencia.

11.- Corregir la caída de tensión en los alimentadores. Una tensión reducida en las terminales del motor, acarrea entre otros, un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y la disminución de su Eficiencia. Las Normas permiten una caída máxima del 3% (o del 5% en la combinación de alimentación y circuito derivado) pero es recomendable que no rebase el 1%.

12.- Balancear la tensión de alimentación en los motores trifásicos de c-a. El desequilibrio entre fases no excederse en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalance, los motores operarán con mayor eficiencia.

13.- Compensar la energía reactiva demandada por los motores de c-a, más importantes o con mayor número de horas de funcionamiento, mejorando el factor de Potencia de la instalación, con lo que se reducen las pérdidas de la potencia y de la tensión en los conductores.

14.- Procurar que los motores síncronos funcionen con un factor de Potencia cercano a la unidad, para mejorar el Factor de Potencia de la instalación.

15.- Evitar hasta donde sea posible, el arranque y la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.

16.- Utilizar arrancadores a tensión reducida en aquellos motores que realicen un número elevado de arranques. Con esto se evita un calentamiento excesivo en los conductores, y se logra disminuir las pérdidas durante la aceleración.

17.- Utilizar arrancadores Estrella-Delta (Y- $\Delta$ ) o de devanado partido, como alternativa de los arrancadores a tensión reducida cuando la carga impulsada no requiera de un alto par de arranque. Son más económicos en términos de energía, pero tienen el inconveniente de que el par de arranque se reduce notoriamente.

18.- Sustituir en los motores de rotor devanado los reguladores con resistencia para el control de la velocidad, por reguladores electrónicos más eficientes. En las resistencias se llega a consumir hasta un 20% de la potencia que el motor toma de la red.

19.- Instalar arrancadores electrónicos en lugar de los reóstatos convencionales para el arranque de los motores de c-c. Permiten una mayor eficiencia en el arranque con el consiguiente Ahorro de Energía.

20.- Sustituir motores con engranes, poleas, bandas u otro tipo de transmisión, para reducir la velocidad del motor; por motores de velocidad ajustable con reguladores electrónicos.

21.- Instalar motores de velocidad ajustable con reguladores electrónicos en aquellos accionamientos donde la carga sea variable y se pueda controlar ajustando la velocidad. Por ejemplo, en sistemas de bombeo o compresión que deben suministrar caudales variables y que para hacerlo utilicen válvulas y otros dispositivos de control. La eficiencia total del motor y su carga, se eleva notablemente con Ahorro de Energía importantes.

22.- Evaluar la posibilidad de conectar la ventilación solamente durante las bajas velocidades en aquellos motores de velocidad ajustable y ventilación separada provista por equipos auxiliares. Con esto se puede reducir el consumo de energía en el sistema de ventilación.

23.- Preferir el acoplamiento individual, en accionamientos con un grupo de motores así se consigue mejor que cada motor trabaje lo más cerca posible de su máxima carga.

24.- Acoplar directamente el motor a la carga siempre que el accionamiento lo permita. Con esto, se evitan las pérdidas en el mecanismo de transmisión.

25.- Instalar acoplamientos flexibles en aquellos motores sometidos a un número elevado de arranques súbitos. Con esto se pueden atenuar los efectos de una alineación defectuosa, reducir los esfuerzos de torsión en la flecha del motor y disminuir las pérdidas por fricción.

26.- Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación de cojinetes de motores de gran capacidad, afin de minimizar las pérdidas por fricción, y elevar la eficiencia.

27.- Mantener en buen estado y correctamente ajustados los equipos de protección contra sobrecalentamientos o sobrecargas en los motores. Los protegen de daños mayores y evitan que operen con baja eficiencia.

28.- Revisar periódicamente las conexiones del motor junto con las de su arrancador y demás accesorios. Conexiones flojas o mal realizadas originan un mal funcionamiento del motor y ocasionan pérdidas por disipación excesiva de calor.

29.- Mantener en buen estado los portaescobillas, escobillas, conmutadores y anillos colectores en motores de c-c, síncronos y de rotor devanado. Un asentamiento incorrecto de las escobillas sobre el conmutador en los anillos colectores, provoca sobrecalentamientos y pérdidas de energía.

30.- mantener bien ajustado y en óptimas condiciones el interruptor de arranque de los motores monofásicos de fase partida. El mal funcionamiento de este accesorio que se emplea para desconectar el devanado de arranque (y el condensador en los motores de arranque por condensador) provoca un sobrecalentamiento en los conductores con una pérdida de energía, y en cada caso, la falla del motor.

31.- Mantener en óptimas condiciones los sistemas de ventilación y enfriamiento de los motores, para evitar sobrecalentamientos que puedan aumentar las pérdidas en los conductores del motor y dañar los aislamientos.

32.- verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada. Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento, y en caso extremo, ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.

33.- Reparar o cambiar los ejes del motor y de la transmisión, si se han doblado por sobrecarga o por mal uso. Un eje en mal estado incrementa las pérdidas por fricción y puede ocasionar daños severos sobre todo en los cojinetes del motor.

34.- Mantener en buen estado los medios de transmisión entre el motor y la carga, tales como: poleas, engranes, bandas y cadenas. Si estos no se encuentran en condiciones apropiadas, o su instalación es incorrecta, pueden ocasionar daños importantes, además de representar una carga inútil para el motor.

35.- Mantener en óptimas condiciones los cojinetes del motor. Una cantidad considerable de energía se pierde en cojinetes en mal estado, o si su lubricación es inadecuada (insuficiente o excesiva). Se deben reparar o sustituirse si tienen algún desperfecto, y se deben seguir las instrucciones del fabricante para lograr una correcta lubricación.

36.- realizar la inspección periódica del motor, incluyendo lecturas de corriente, potencia (kW), velocidad (rpm), resistencia de aislamiento, etcétera; con el objetivo de verificar si se mantienen en condiciones apropiadas de funcionamiento y eficiencia, y poder tomar acciones correctivas cuando se requieran.

37.- Efectuar rutinariamente la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños que impidan su óptimo funcionamiento. La regularidad con que ésta se realice dependerá de las condiciones en las que el motor esté trabajando; pero es recomendable desmontarlo al menos, una vez al año, para realizar la limpieza completa de todos sus componentes.

38.- Mantener actualizados los manuales de operación de los motores, incorporando en éstos las modificaciones que tengan lugar.

39.- Colocar carteles con instrucciones concretas para los operarios, con la finalidad de que los motores operen con la mayor seguridad y eficiencia.

40.- Hacer conciencia con los operarios de los equipos en cómo Ahorrar Energía.

## CONCLUSIONES.

Todo lo que hasta aquí se ha expuesto, carecería de sentido si no tuviera como objetivo definido: **el Ahorro de Energía** en la Ingeniería de los procesos Industriales. Dicho Ahorro de Energía debe entenderse como un medio para incrementar la productividad, mediante la reducción de costos; si el Ahorro de Energía no cumple esta condición, entonces no vale (ni valdría) la pena.

Afortunadamente en la mayoría de los casos puede demostrarse la rentabilidad de implantar las medidas o ideas que hasta aquí se han expuesto en torno al Ahorro de Energía; y cuyo objetivo fundamental es despertar el interés y la inventiva para desarrollarlas, modificarlas, investigarlas e incluso, descubrir algunas más, que conlleven la idea de optimizar los sistemas y los recursos, esto significa, encontrar la mejor relación Costo/Beneficio.

El criterio de rentabilidad también debe quedar establecido, y aunque hay inversiones que se pagan en relativamente poco tiempo por sí solas, en un buen número de casos, el reto de la inversión oscilará entre 1.5 y 3.5 años respectivamente; sin embargo, los espectaculares resultados son casi siempre la consecuencia de corregir errores espectaculares.





La manera más directa de cuantificar el potencial de Ahorro de Energía es mediante mediciones directas de los diferentes parámetros que intervienen por ejemplo, en el bombeo, y compararlas con sus características de diseño; establecer mediante relaciones de afinidad u otro medio, el comportamiento de un equipo nuevo o modificado y contabilizar los costos de operación en ambos casos; las ventajas adicionales al proceso de Seguridad y Confiabilidad de la Instalación también deben incluirse en cuenta de esta evaluación económica.

Operar con bajo Factor de Potencia una Instalación Eléctrica, además del impacto en el pago de la electricidad, tiene otras implicaciones de igual o mayor significado, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la Energía Eléctrica, y con el uso eficiente de las máquinas y aparatos que funcionan con electricidad.

La explicación del factor de Potencia, los efectos que se presentan cuando su valor es reducido y los métodos para corregirlo, no son temas nuevos. Desde hace muchos años han sido tratados en innumerables artículos, libros y revistas especializadas. Sin embargo, el Factor de Potencia es un problema permanente y de obligada importancia para todos aquellos cuya actividad se relacione con el Diseño, Operación y Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas Industriales; por lo que, la revisión periódica de los conceptos no sólo es conveniente, sino absolutamente necesaria.

Por lo tanto, la selección adecuada de un motor eléctrico debe considerar sus condiciones de desempeño, incluyendo las restricciones del medio ambiente, así como su costo de adquisición y de operación.

Características de alimentación eléctrica, requerimientos del par, ciclo de trabajo de la carga, tipo de armazón, etcétera, son sólo algunos de los factores que deben tomarse en cuenta. El siguiente paso, es evaluar el nivel de eficacia deseado para la aplicación de que se trate. En estas circunstancias, la elección de un Motor de Alta Eficiencia puede convertirse en la mejor alternativa. Sin embargo, debido a su mayor costo inicial (comparado con un motor convencional de características similares) es importante hacer un análisis de los beneficios para asegurarse que la decisión sea viable. Cuatro conceptos son requeridos para evaluar la factibilidad económica de elegir el Motor de Alta Eficiencia en lugar de uno convencional:

-  Tarifa Eléctrica.
-  Factor de Carga.
-  Horas de Operación.
-  Costo de Adquisición del Motor.

Como se ha señalado, los motores que han fallado no son los únicos candidatos para ser sustituidos por Motores de Alta Eficiencia; de hecho existen oportunidades de tener Ahorros de Energía sustanciales, reemplazando motores que se tienen en operación (especialmente por motores viejos), motores con varias reparaciones o motores sobredimensionados. Además, desde el punto de vista del Mantenimiento Preventivo, suele ser conveniente cambiar motores antes de que fallen, y qué mejor, que utilizar para el reemplazo, uno de Alta Eficiencia.

Para iniciar un Programa de Mejora en la Planta de Motores Eléctricos dentro de una Instalación, se deben determinar los mejores candidatos para ser reemplazados. Esto requiere de un cuidadoso análisis de desempeño histórico de las máquinas; en particular, de las reparaciones que han tenido. Un valioso auxiliar son los resultados de las pruebas a las que son sometidos para verificar que se mantienen en condiciones adecuadas de operación y tomar acciones preventivas.

Si no se cuenta con información de los motores o no se tiene integrada, habrá que diseñar un Instrumento de Medición que proporcione dicha información. Dicha información constará de los siguientes datos generales y particulares: Datos que se obtienen de la placa o del catálogo del fabricante, el registro de mediciones y parámetros derivados que se calculan a partir de la información recabada haciendo uso de las expresiones y fórmulas contenidas en este Trabajo de Tesis. Con respecto a las mediciones, un análisis del comportamiento de los motores es imposible sin la ayuda de instrumentos. No obstante, un Operario entrenado puede realizar un Excelente trabajo de medición.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Arizmendi, L. J. (1994). **Cálculo y Normativa Básica de las Instalaciones en Edificios Inteligentes.** España: Editorial EUNSA.

Balvanera Ortiz, R. F. (1996). **Diseño Inteligente.** México: *Revista Obras*, (285).

Bautista, M. A. (1987). **Grupos Electrógenos.** España: Paraninfo.

Díaz Olivares, J. C. (1999). **La Ingeniería en Edificios de Alta Tecnología: Criterios de Diseño, Proyectos y Puesta en Servicio.** España: Mc Graw-Hill Interamericana de España, S. A. U.

Diccionario Larousse de la Real Academia de la Lengua Española. (2004).

Feijó Muñoz, J. (1991). **Instalación Eléctrica y Electrónica Integral en Edificios Inteligentes.** España: Universidad de Valladolid.

González Lojeño, M. T. (1996). **La Obra del WTC.** México: *Revista Obras*, (280).

Günter, G. (1989). **Instalaciones Eléctricas.** Vol. II. Madrid: Editorial Siemens de España.

Godoy, F. (1997). **Climatización: Instalaciones Termofrigríficas para Edificios Inteligentes.** España: Paraninfo.

Hörnig, W. y Schneider, P. (1981). **Normas VDE 0100 de Protección Eléctrica.** España: Marcombó.

Martínez Anaya, J. (1993). **Perspectiva para Edificios Inteligentes.** México: *Revista Enlace*. Colegio de Arquitectos de México A. C., 3 (9).

Martínez García, S. (1992). **Alimentación de Equipos Informáticos y Otras Cargas Críticas.** España: Mc Graw-Hill.

Muñoz Guerreño, J. (1995). **Sistemas de Seguridad.** España: Paraninfo.

Newbrough, E. T. (1997). **Administración del Mantenimiento Industrial: Organización, Motivación y Control en el Mantenimiento Industrial.** México: Diana, 11ª reimpresión.

Nils, G. y Rosales, R. (1996). **Manual de Diseño de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado en Edificios Inteligentes.** México: Mc Graw-Hill.

Ortega Rubio, N. S. (1996). **La Astucia de las Edificaciones.** México: *Revista Obras*, (283).

Robbins, S. (2003). **Administración: Teoría y Práctica.** México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A., 4ª ed.

Sanabria Atilano, E. (1993). **El Futuro: Predicciones sobre la Arquitectura y Edificios Inteligentes.** México: *Revista Enlace*. Colegio de Arquitectos de México A. C., 3 (9).

Sánchez González, A. (2004). **Edificios Inteligentes.** México: Instituto Mexicano del Edificio Inteligente.

Toledano, J. C. y Martínez, J. J. (1997). **Puesta a Tierra en Edificios y en Instalaciones.** España: Paraninfo.



## ANEXO.

### “GLOSARIO DE TÉRMINOS SOBRE AHORRO DE ENERGÍA”.

**ACOMETIDA ELÉCTRICA.-** Instalación eléctrica de entrada a un Edificio, local o equipo.

**ACS.-** Agua caliente sanitaria.

**AISLAMIENTO GALVÁNICO.-** Aislamiento eléctrico a la corriente conducida de dos circuitos o partes metálicas.

**ARMÓNICOS.-** Efecto producido sobre la onda senoidal al conectarle cargas no lineales. Pueden ser de Intensidad de Corriente o de Tensión de Voltaje. La distorsión armónica es la medida del contenido de armónicos en una onda senoidal. Es la suma cuadrática de los mismos.

**AUTOMATIZACIÓN.-** Operación automáticamente controlada de un proceso o sistema realizada por dispositivos mecánicos o electrónicos que reemplazan al operador humano en las tareas de observación, realización de esfuerzos y toma de decisiones.

**BABL.-** Control de Longitud Ilegal (prueba de cableados de comunicaciones).

**BACK-UP.-** Copia o elementos de reserva o respaldo.

**BT.-** Baja Tensión (hasta 1,000 Volts).

**BARRAS DE DISTRIBUCIÓN.-** En general, conductor metálico rígido, casi siempre desprovisto de aislamiento, utilizado para conducir fuertes corrientes o para servir de conductor común a varios circuitos.

**BATERÍAS.-** Asociación de elementos electroquímicos que pueden transformar la energía química en energía eléctrica. Generalmente, se clasifican en dos tipos para su aplicación a los Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI): Plomo y Níquel-Cadmio. Las de Plomo además, pueden ser herméticas (sin necesidad de relleno de electrolito).

**CARGAS.-** Circuito, equipo o sistema que recibe alimentación eléctrica. En función del perjuicio económico que puede acarrear su alimentación incorrecta, se clasifican en críticas y no críticas.

**CAÍDA DE ALIMENTACIÓN.-** Disminución más o menos brusca de la alimentación eléctrica a un circuito o sistema.

**CAÍDA DE TENSIÓN.-** Diferencia de tensión entre dos puntos debida a la circulación de una corriente a través de una impedancia.

**CCTV.-** Circuito Cerrado de Televisión.

**CEL.-** Cuadro de Energía Limpia. (SAI).

**CES.-** Cuadro de Energía Sucia. (Red o grupo electrógeno).

**CPD.-** Centro de Proceso de Datos.

**CRC.-** Código de Paridad.

**CS.-** Centro de Seccionamiento.

**CT.-** Centro de Transformación.

**ENERGÍA REACTIVA.-** Energía que es incapaz de desarrollar trabajo.

**ERGONOMÍA.-** Ciencia que estudia el diseño de equipamiento del puesto de trabajo, para crear las mejores condiciones.

**FACTOR DE POTENCIA DE LA CARGA.-** Relación entre la potencia activa y la aparente de la carga, con tensión senoidal pura, con carga lineal el factor de potencia es igual al Coseno del ángulo de defasamiento.

**FIABILIDAD.-** Término genérico que denota la capacidad de un dispositivo, equipo o sistema para llevar a cabo de una misión determinada con ciertas condiciones.

**GRADO DE INDEPENDENCIA.-** En un edificio, es la capacidad del mismo para que en condiciones extremas de suministros exteriores pueda permanecer funcionando sin merma alguna.

**GRADO DE REDUNDANCIA.-** Se define en los sistemas de alimentación ininterrumpida como la capacidad de seguir funcionando al 100%, con fallas de una, dos o “n” módulos en un sistema de equipos múltiples.

**IBR.-** Manta de Fibra de Vidrio.

**INTERRUPTOR.-** Elemento destinado a la apertura de un circuito eléctrico. Si el circuito está en vacío, se denomina seccionador en vacío. Si el circuito está en carga, se tendrá dos tipos: el Disyuntor, para operación automática (incorpora relevadores) y el Seccionador en carga, para operación manual.

**JAULA DE FARADAY.-** También conocida como Pantalla de Faraday. Red de cables en paralelo conectados a un conductor común en un extremo para proporcionar un apantallamiento electrostático sin que le afecten las ondas electromagnéticas. El conductor común se pone a tierra generalmente.

**PLAN DE CONTINGENCIA.-** Plan de previsión ante desastres de todo tipo.

**POTENCIA.-** En los equipos eléctricos, se define como la capacidad de los mismos para producir trabajo.

**PROTECCIONES.-** Dispositivos que desconectan un circuito cuando las condiciones de diseño no son mantenidas. Existen de tensión y de intensidad.

**RED DE DATOS.-** Interconexión de una serie de puntos mediante instalaciones de comunicaciones. La arquitectura de sistemas que lo soporta está generalmente formado por multiplexores, módems, adaptadores de líneas y ordenadores.

**RED EQUIPOTENCIAL.-** Conjunto De elementos que están todos conectados al mismo punto de puesta a tierra.

**PVF.-** Factor de Velocidad de Propagación.

**SAI.-** Sistema de alimentación ininterrumpida (también denominado UPS. Equipo electrónico para mantener alimentadas las cargas denominadas críticas, de forma segura y de buena calidad, tanto en presencia de red como ausencia de ésta. En este caso, durante un período de tiempo determinado por el tiempo de autonomía de las baterías.

**SELECTIVIDAD.-** Cuando se disponen de varios dispositivos de protección en serie se requiere que éstos sean selectivos. La protección de la red se considera selectiva si solamente se desconecta el dispositivo de protección más próximo al punto de defecto por delante del mismo. Existen dos tipos de selectividad: la cronometría (tiempo) y la intensidad.

**SQE.-** Error de Calidad de la Señal.

**TENSIÓN DE ENTRADA NOMINAL.-** Valor eficaz de la tensión que alimentará el equipo y que se toma como indicativo.

**TENSIÓN NOMINAL DE LA BATERÍA.-** La que resulta de multiplicar el número de vasos de la batería por su tensión nominal (2 Volts para Plomo y 1.2 Volts para Ni-Cd).

**TRANSCIVERS.-** Órganos activos en sistemas de comunicaciones (voz y datos).

**TRANSFORMADORES DE AISLAMIENTO.-** Transformador que tiene un devanado primario aislado galvánicamente del secundario.

**TRIGENERACIÓN.-** Coproducción conjunta de electricidad, calor y frío (es una variante de la cogeneración).

**UTA.-** Unidad de Tratamiento de Aire.

**VIDA MEDIA.-** Tiempo durante el cual el edificio funciona correctamente bajo las condiciones normales de servicio.

**VRV.-** Volumen de Refrigerante Variable.