

125  
21.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**

**ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS  
"AHORRO Y USO RACIONAL DE LA ENERGIA  
ELECTRICA EN LA INDUSTRIA".**

**TRABAJO DE SEMINARIO  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A :  
H O M A R O R T U R O M O J I C A**

**ASESOR: ING. PEDRO GUZMAN TINAJERO**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO**

**1997**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL  
UNIDAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN  
PRESENTE.



AT'N: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautilán, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el Trabajo de Seminario:

Iluminación e Instalaciones Eléctricas.

"Ahorro y Uso Racional de la Energía Eléctrica en la Industria".

que presenta el pasante: Homar Ortuño Mojica

con número de cuenta: 8924240-5 para obtener el Título de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 06 de Octubre de 1977

MODULO:

PROFESOR:

FIRMA:

II Ing. Pedro Guzmán Tinajero

III Ing. Casildo Rodríguez A.

IV Ing. Benjamín Contreras S.

DEP/VOBOSEM

## **AGRADECIMIENTOS**

**A Dios.**

**A mis padres: Irma y Nicanor, por todo el amor y el apoyo que nunca me negaron.**

**A mis hermanas: Noemí, Elizabeth, Cristina, Marina y Carolina, por su magnífico ejemplo y su grata compañía.**

**A todos mis amigo(a)s y compañero(a)s, por los gratos momentos que compartimos.**

**A mi asesor de tesis y a todos los profesores de la carrera, por contribuir en mi formación profesional.**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México, particularmente a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por haberme permitido hacer uso de sus instalaciones.**

# INDICE

## INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### CONCEPTOS BÁSICOS.

	1
1.1 Energía.	1
1.2 Fuentes de Energía.	1
1.3 Generación, Transmisión y Distribución de la Energía Eléctrica.	2
1.3.1 Sistemas de Generación.	2
Central Termoeléctrica.	2
Central Nucleoeléctrica.	3
Central Hidroeléctrica.	3
1.3.2 Sistemas de Transmisión.	3
1.3.3 Sistemas de Distribución.	4
1.4 Cargas de un sistema.	4
1.4.1 Tipos de cargas.	4
1.4.2 Clasificación de los sectores consumidores de energía eléctrica.	5
1.4.3 Balance Nacional de Energía Eléctrica.	5
1.5 Índice de Densidad de Potencia Eléctrica en Alumbrado (DPEA).	6
1.5.1 Valores máximos Permisibles de DPEA en edificios no Residenciales	6
1.6 Regulación de voltaje.	7
1.7 Regulación de frecuencia.	8
1.8 Armónicas	8
1.8.1 Problemas causados por las armónicas	9
1.8.2 Causas principales de las armónicas	9
1.9 Sistemas balanceados y desbalanceados	9
1.9.1 Porcentaje límite de desbalanceo	12
1.9.2 Causas de desbalanceo	12
1.10 Instalación Eléctrica	12

### CAPITULO II

#### AHORRO DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS.

13

### CAPITULO III

#### ELEMENTOS BASICOS DE UN PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

15

3.1 Prueba de la necesidad	15
3.2 Compromiso y apoyo de la alta dirección	16
3.3 Adopción de una nueva filosofía y cultura energética.	16
3.4 Diagnóstico Energético.	16
3.5 Diseño de un plan.	16
3.6 Organización y formación de equipos de trabajo.	17

3.7 Aplicación de acciones y medidas.	17
3.8 Capacitación y entrenamiento.	18
3.9 Supervisión y control.	18
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO.</b>	<b>19</b>
4.1 Diagnóstico de primer grado.	19
4.2 Diagnóstico de segundo grado.	20
4.3 Diagnóstico de tercer grado.	20
4.4 Consideraciones para realizar un diagnóstico	20
<b>CAPITULO V</b>	
<b>EQUIPO PARA MEDICIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.</b>	<b>22</b>
5.1 Instrumentación para la realización de un diagnóstico.	22
5.2 Dispositivos y equipos de control para el ahorro de energía.	23
5.2.1 Control de equipo eléctrico en la industria y comercio.	23
5.2.2 Control de iluminación.	23
5.2.3 Control de aire acondicionado y ventilación.	23
5.2.4 Limitación y control de la demanda.	23
<b>CAPITULO VI</b>	
<b>ASPECTOS BASICOS DEL FACTOR DE POTENCIA ORIENTADOS AL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.</b>	<b>25</b>
6.1 Inconvenientes de un bajo factor de potencia.	27
6.2 Un incremento en las pérdidas por calentamiento.	29
6.3 Una deficiente regulación de voltaje.	29
6.4 Un incremento en la facturación.	30
6.5 Métodos de corrección del factor de potencia.	30
6.6 Determinación del factor de potencia en una instalación industrial.	32
6.7 Cálculo de la potencia reactiva capacitiva para corregir el f. p.	33
6.8 Consideraciones para la localización de los capacitores.	35
6.9 Recargo en las facturaciones por bajo factor de potencia.	38
<b>CAPITULO VII</b>	
<b>DEPENDENCIAS, ORGANISMOS Y ASOCIACIONES QUE ACTUALMENTE INTERVIENEN EN PROGRAMAS DE AHORRO DE ENERGÍA.</b>	<b>40</b>
<b>CAPITULO VIII</b>	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>41</b>
<b>APENDICE I</b>	
<b>CODIGOS Y REGLAMENTOS.</b>	<b>43</b>
<b>APENDICE II</b>	
<b>TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>50</b>

## **INTRODUCCION**

En los últimos años tanto los países industrializados como los que se encuentran en vías de desarrollo, se han visto en la necesidad de hacer un uso más eficiente de la energía, esto es debido al incremento del costo de la electricidad, al agotamiento de las reservas de petróleo, al uso inadecuado de los recursos naturales y al grave daño que se le está causando a la atmósfera.

En México, casi todos los usuarios hacen un uso ineficiente de la energía eléctrica, se desconoce en que áreas específicas está ocurriendo este desperdicio al igual que las cantidades de energía que podrían ahorrarse en los diferentes procesos y sectores si se tomaran medidas tendientes a mejorar su uso.

Actualmente se están llevando a cabo grandes esfuerzos para fomentar una cultura energética en la que al utilizar los recursos disponibles, se haga de un modo más racional y eficiente, evitando el funcionamiento de equipo innecesario, eliminando los desperdicios, confiando en las nuevas tecnologías, operando las instalaciones con estrategias que no sacrifiquen la calidad y cantidad de la producción, cumpliendo con los requisitos de las tarifas eléctricas para reducir la demanda y el consumo de la electricidad.

El objetivo de este trabajo es el de mostrar los beneficios del ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica en la industria.

En el capítulo I se dan los conceptos básicos que intervienen en un sistema de energía eléctrica, para así tener claro todos los factores que se ven involucrados.

El capítulo II presenta la importancia del ahorro de energía en los sistemas eléctricos y algunas alternativas para evitar un uso indebido de la energía eléctrica.

Los capítulos III, IV y V plantean los elementos básicos para la implementación de un programa de ahorro de energía eléctrica y las características del equipo para llevarlo a cabo.

En el capítulo VI se aborda el tema del factor de potencia orientado al ahorro de energía eléctrica.

Finalmente en el capítulo VII se hace mención de los organismos que actualmente intervienen en los programas de ahorro de energía.

# CAPITULO I

## CONCEPTOS BASICOS

El propósito de este capítulo es el de definir los conceptos que intervienen en un sistema de energía eléctrica y que servirán para el desarrollo de la tesina.

### 1.1 Energía

Energía es la capacidad de un sistema para producir acciones externas.

Todo cuerpo o sistema material que pasa de un estado a otro produce fenómenos físicos que son manifestaciones de alguna transformación de la energía. Así, las moléculas de agua corriente que baja de la presa por gravedad, al ser desviada por los alabes, pierden velocidad y les ceden una parte de su energía cinética, la cual al hacer girar la turbina, se convierte en energía mecánica. A su vez la turbina arrastra un alternador cuya rotación engendra una corriente de electrones conocida como: energía eléctrica.

### 1.2 Fuentes de energía

Todo aquello que permite producir energía útil directamente o por medio de una transformación se conoce como fuente de energía.

Fuentes de Energía



- Energía hidráulica.
- Energía térmica.
- Energía atómica o nuclear.
- Energía química.
- Energía solar.
- Energía eólica.
- Energía radiante.
- Biomasa

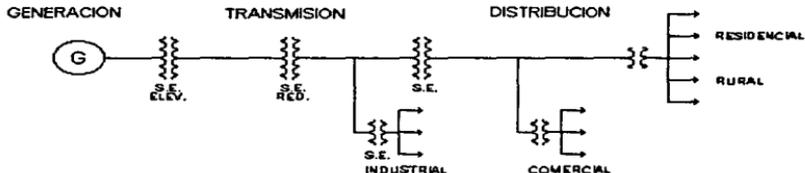
Energía eléctrica. Corriente de electrones generada por cualquiera de las fuentes de energía antes mencionadas, que por haber cambiado de estado, desarrollan otra forma de energía.

La energía eléctrica tiene grandes ventajas sobre las demás clases de energía: posibilidad de ser transformada fácilmente en cualquier otra de sus formas con un rendimiento satisfactorio, transporte limpio, cómodo y económico, por líneas aéreas a grandes distancias, posibilidad ilimitada de dividirla y usarla tanto en forma de corrientes muy altas como en las pequeñas corrientes de los dispositivos electrónicos. Su único inconveniente es el de no presentar un medio cómodo de almacenar.

### 1.3 Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica

Casi la totalidad de la energía eléctrica consumida por la industria y particulares se produce en forma de corriente alterna. Pues al hacer una comparación con la corriente continua resulta más económico generarla y transportarla.

La corriente alterna puede producirse a tensiones relativamente altas, puede elevarse o reducirse fácilmente por medio de transformadores. Con ello es posible el transporte económico de energía como corriente alterna hasta distancias considerables, valiéndose de altas tensiones de transporte, lo que representa una gran ventaja.



Generación, transmisión y distribución.

#### 1.3.1 Sistemas de generación.

La función de los sistemas de generación es la producción de energía eléctrica. El sistema de generación está integrado por centrales de diferentes tipo, que utilizan distintas fuentes de energía para producir electricidad.

##### Principales Tipos de Centrales

###### Central Termoeléctrica

Instalación en la que la energía química, contenida en combustibles fósiles, sólidos, líquidos o gaseosos es transformada por medio de máquinas térmicas (turbina de vapor, motores diesel, etc.) en energía eléctrica.

### Central Nucleoeléctrica

Instalación en la cual se aprovecha la energía térmica producida por la fisión de los núcleos atómicos de ciertos elementos. Las Nucleoeléctricas son en realidad centrales térmicas en las que se utilizan combustibles nucleares.

### Central Hidroeléctrica

Instalación en la que la energía mecánica del agua es transformada en energía eléctrica, por medio de turbinas hidráulicas.

Cabe mencionar la existencia de otro tipo de centrales menos convencionales como son:

- Central Eólica
- Central Geotérmica
- Central Solar o Helio térmica
- Central Hidrotérmica
- Central Maremotriz

Capacidad Instalada (MW) a nivel nacional en hasta 1995.

Tipo	Capacidad instalada (MW)	Porcentaje %
Termoeléctrica	19,394	58.7
Hidroeléctrica	9,329	28.2
Carboeléctrica	2,250	6.8
Nucleoeléctrica	1,309	4.0
Geotérmica	753	2.3
Eólica	2	N.S.
Total	33,037	100.0

N.S. = No significativo

### 1.3.2 Sistemas de Transmisión

La función del sistema de transmisión es el transporte de grandes potencias a los centros de carga y a los grandes consumidores que sobrepasan los límites de corriente de las líneas primarias de distribución.

El transporte de energía eléctrica solo puede utilizarse con buen rendimiento a voltajes elevados, mientras que los equipos de consumo de energía, tales como motores y lámparas, son esencialmente dispositivos de bajo voltaje; en consecuencia los transformadores desempeñan un papel muy importante en cualquier sistema de transporte y distribución.

### 1.3.3 Sistemas de Distribución

La función del sistema de distribución es el suministro de la energía desde las estaciones generadoras o desde las subestaciones del sistema de transmisión hasta los usuarios. El sistema de distribución incluye todos los elementos de una explotación de energía eléctrica comprendidos entre el centro o centros de energía disponibles y los interruptores individuales de entrada a los abonados. El centro de distribución puede ser una estación generadora o una subcentral alimentada por líneas de transmisión.

Sistemas eléctricos de distribución {  
Aéreo  
Subterráneo  
Submarino

### 1.4 Carga de un sistema

La carga global de un sistema esta constituida por un gran número de cargas individuales de diferentes clases (industrial, comercial, residencial y servicios). En general una carga absorbe potencia real y potencia reactiva; es el caso por ejemplo de un motor de inducción. Naturalmente, las cargas puramente resistivas (lámparas incandescentes, calefactores eléctricos) absorben únicamente potencia real.

La potencia suministrada en cada instante por un sistema es la suma de la potencia absorbida por las cargas mas las pérdidas en el sistema. Aunque la conexión y desconexión de las cargas individuales es un fenómeno aleatorio, la potencia total varia en función del tiempo siguiendo una curva que puede predeterminarse con bastante aproximación y que dependen del ritmo de las actividades humanas en la región servida por un sistema.

Los datos más importantes para proyectar un sistema eléctrico son las características de la carga, debe de existir una relación estrecha entre la carga por alimentar, los sistemas de distribución, las subestaciones, las líneas de transmisión y la generación.

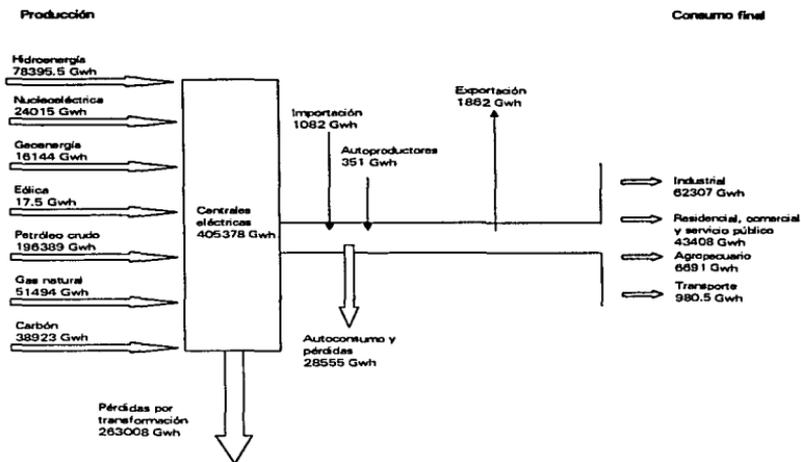
#### 1.4.1 Tipos de cargas

La finalidad con la cual el usuario consume la energía sirve para hacer la siguiente clasificación:

1.4.2 Clasificación de los sectores consumidores de energía eléctrica de acuerdo al consumo (en GWh) en 1995.

SECTOR	CONSUMO	
	GWh	%
Industria	62,307	55.0
Residencial	28,464	25.0
Comercial	9,641	8.5
Servicio Público	5,303	4.7
Agrícola	6,691	5.9
Transporte	980	0.9
Total	113,386	100.0

1.4.3 Balance Nacional de Energía Eléctrica (1995).



### 1.5 Índice de Densidad de Potencia Eléctrica en Alumbrado (DPEA)

La densidad de potencia eléctrica en los sistemas de alumbrado (DPEA), es un índice de carga conectada para alumbrado por superficie de construcción: es decir, la potencia instalada en watts del sistema de alumbrado referido al área en m<sup>2</sup> que abarca el mismo, se expresa en W/m<sup>2</sup>.

Este índice persigue obtener el máximo rendimiento de la energía eléctrica consumida en el sistema de alumbrado, a través del establecimiento de valores límite de la DPEA sin menoscabo del confort de sus ocupantes.

#### 1.5.1 Valores máximos permisibles de Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado (DPEA) en edificios no residenciales.

Tipo de edificio	Interior (W/m <sup>2</sup> )	Exterior(W/m <sup>2</sup> )
Oficinas	16	1.8
Escuelas	16	1.8
Hospitales	14.5	1.8
Hoteles	18	1.8
Restaurantes	15	1.8
Comercio	19	1.8
Bodegas y Almacenes	8	
Estacionamientos	2	

Para los departamentos se ha encontrado que la demanda coincidente varía de 500 a 800 W, dependiendo del número de habitaciones con que cuentan los departamentos.

En los fraccionamientos residenciales, las densidades de carga son menores de los 5 MVA/km<sup>2</sup>. En algunos casos se recurre a redes mixtas, con transformadores en poste y con cables primarios y secundarios subterráneos.

Los receptores industriales pueden dividirse en tres grupos. Según el tipo, tamaño y grado de automatización de los procesos de fabricación, para cada uno de estos grupos resulta entonces una carga específica por unidad de superficie (Pm) en W/m<sup>2</sup>, para el suministro eléctrico total, en la que también se incluye la instalación de alumbrado con 20 a 25 W/m<sup>2</sup>.

Grupo	Tipo de empresa	Ejemplos	Carga específica media por unidad de superficie Aprox. Pm (W/m <sup>2</sup> )
1	Con pequeños y grandes receptores, que están uniformemente distribuidos en superficie y cuyas cargas permanecen también constantes en el tiempo	Talleres de reparación Talleres de tornos automáticos Fabricas textiles	50 a 100
2	Con receptores distribuidos uniformemente en superficie, con grandes diferencias en la potencia de acometida, así como con crestas de carga variables en el tiempo	Fabricación de herramientas Talleres mecánicos Talleres de soldadura	70 a 100 170 a 230 150 a 300
3	Con receptores de gran potencia de acometida, tales como grandes máquinas u hornos, donde la potencia necesaria de los pequeños aparatos es despreciable frente al consumo total	Prensas Talleres de Temple Siderurgias Plantas de laminación Cementeras	200 a 500

## 1.6 Regulación de voltaje

El principal objeto de la regulación de la tensión en circuitos de distribución o transmisión es mejorar la calidad del servicio prestado a los consumidores ofreciéndoles el máximo beneficio en su compra de luz, calor o fuerza motriz; al mismo tiempo, una regulación de tensión adecuada aumenta las ganancias de la explotación.

Los aparatos que funcionan con energía eléctrica están diseñados para operar a un voltaje determinado y su funcionamiento será satisfactorio siempre que el voltaje aplicado no varíe más allá de ciertos límites.

La regulación de tensión afecta de la siguiente manera:

-Para el caso de lámparas incandescentes un voltaje menor que el nominal disminuye el flujo luminoso, por ejemplo, una reducción del 10% de tensión reduce el flujo luminoso al 70% de su valor nominal y el consumo de la lámpara al 85%; un voltaje menor que el nominal acorta la vida de la lámpara, con un aumento del 10% de aumento de tensión, la vida de teórica de la lámpara se reduce al 30% de la nominal.

-En las lámparas fluorescentes la variación del flujo luminoso con la tensión aplicada es algo menor que en las lámparas incandescentes. La baja tensión afecta el arranque y en general la lámpara no se enciende si la tensión aplicada es del 90% o menor de la tensión nominal. La tensión excesivamente alta causa el calentamiento del balastro; tanto la tensión alta como la baja acortan la vida de la lámpara.

-En los aparatos de calefacción eléctrica por resistencia, la energía consumida es proporcional al cuadrado de la tensión aplicada ( $P = V^2/R$ ), por lo tanto una tensión inferior a la nominal disminuye considerablemente el calor producido; una tensión excesivamente alta acorta la vida del aparato.

-Los equipos electrónicos están diseñados generalmente para operar con una tolerancia de  $\pm 5\%$  de tensión. En aparatos de televisión si la tensión es inferior a la que se ha ajustado el aparato la imagen se reduce. La vida del equipo electrónico se reduce notablemente al funcionar a tensiones superiores a las de diseño.

Todo lo anterior hace ver la importancia de la regulación de tensión en un sistema eléctrico, una variación de  $\pm 5\%$  de la tensión en los puntos de utilización, con respecto a la tensión nominal se considera satisfactoria; una variación de  $\pm 10\%$  se considera tolerable.

Tanto el alto como el bajo voltaje ocasionan fallas prematuras del equipo e inconformidad de los consumidores. Los bajos voltajes producen el fenómeno de parpadeo en la iluminación, reducen los pares de arranque y aumentan la

corriente y temperatura en los motores. Los voltajes altos ocasionan la degradación de los aislamientos y reducen la vida del equipo.

Si el diseño del sistema se hace desde el punto de vista de niveles de tensión, se debe establecer un nivel de calidad, que cumpla con las normas establecidas.

### 1.7 Regulación de frecuencia

Al producirse una variación de la carga conectada al sistema, se produce un desequilibrio que se refleja en una variación de la rotación de las máquinas y en consecuencia de la frecuencia.

Los sistemas de energía eléctrica funcionan a una determinada frecuencia, dentro de cierta tolerancia. El rango de las variaciones de frecuencia que pueden tolerarse en un sistema depende tanto de las características de los aparatos, como del funcionamiento del sistema mismo. Las cargas resistivas son evidentemente insensibles a las variaciones de frecuencia. En cambio las cargas constituidas por motores eléctricos que mueven distintos tipos de máquinas giratorias son afectadas en mayor o menor grado por las variaciones de frecuencia.

Tomando en cuenta los factores anteriores, es suficiente controlar la frecuencia con una precisión del 1%. Por último, entre las características que debe cumplir la frecuencia de un sistema puede incluirse su pureza, o sea que el porcentaje de armónicas sea despreciable, esto requiere en primer lugar, que los generadores proporcionen una tensión lo más aproximada posible a una tensión sinusoidal; en segundo lugar hay que limitar a valores tolerables la aparición de armónicas en otros puntos del sistema; como pueden ser los circuitos magnéticos de los transformadores, que están diseñados para trabajar a densidades de flujo próximas a los valores de saturación; una disminución excesiva de la frecuencia o aumento de la tensión pueden causar la saturación del circuito magnético y la deformación de la onda de la tensión inducida.

### 1.8 Armónicas

La impedancia opuesta por un capacitor o un inductor al paso de la corriente depende de la frecuencia y de la forma de la misma; en el estudio de las corrientes alternas se considera en primer lugar las corrientes sinusoidales puras que presentan la frecuencia fundamental y cierto número de armónicas. El cálculo eléctrico se realiza luego para cada corriente por separado.

Las corrientes alternas, por ejemplo las oscilaciones eléctricas y las ondas electromagnéticas, están acompañadas generalmente por componentes armónicas, unas veces útiles y otras perjudiciales a las cuales se les puede atenuar o amplificar.

### **1.8.1 Problemas causados por armónicas.**

- Sobrecalentamiento en transformadores**
- Sobrecalentamiento en los conductores neutrales**
- Fallas prematuras de motores**
- Sobrecalentamiento y fallas de los capacitores correctores del factor de potencia**
- Sobrecalentamiento y sobrecarga en los generadores de emergencia**

### **1.8.2 Causas principales de las armónicas**

**Sobretensiones internas debidas a condiciones de operación, conexión y desconexión de interruptores.**

**Reflexiones de ondas de sobretensión debidas a descargas atmosféricas.**

**El uso de cargas no lineales tales como computadoras, convertidores de frecuencia, controladores de velocidad de motores de CD, copiadoras, dimmers electrónicos, y cualquier otro equipo basado en microprocesadores.**

### **1.9 Sistemas balanceados y desbalanceados**

**Los sistemas de potencia trifásicos deben de suministrar potencia en cantidades considerables a cargas monofásicas, incluyendo lámparas, calentadores, pequeños motores y otros procesos industriales. El ingeniero de potencia de sistemas trata de distribuir estas cargas igualmente en las tres fases, a esto se le llama balance de cargas.**

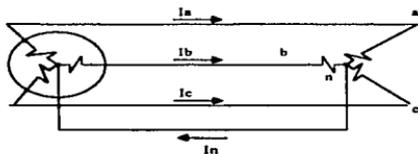
**Este tema tiene el propósito de mostrar los diferentes tipos de conexiones trifásicas y su análisis dependiendo de las condiciones de balance en las que se puede encontrar.**

**Un sistema trifásico balanceado es uno en el que se generan tres voltajes, iguales en magnitud y frecuencia pero que difieren por un tercio de ciclo en tiempo ( $120^\circ$  en ángulo de fase). Estos voltajes balanceados se aplican a impedancias iguales, y dan por resultado corrientes balanceadas. Si un sistema esta balanceado, puede estudiarse analíticamente considerando solo una de las tres fases.**

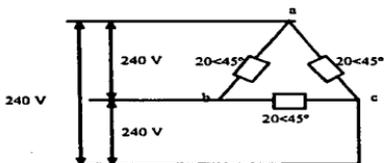
**Si las tres cargas son iguales, y los tres voltajes son balanceados, las tres corrientes estarán balanceadas como se muestra en la figura. La corriente en el alambre común de retorno es la suma de estas tres corrientes de fase. Pero la suma de las tres es cero, por tanto bajo estas condiciones ideales de voltaje balanceado y cargas balanceadas, el alambre común de retorno realmente no transporta ninguna corriente. Sin embargo, con condiciones de balanceo menos ideales (con condiciones practicas de carga en un sistema de protección trifásica), las sumas de las tres corrientes no es cero. Esta corriente es bastante pequeña, y el alambre común de retorno (el cuarto alambre de un sistema trifásico de cuatro hilos) puede ser mucho más pequeño que los tres.**

Cuando existe la seguridad de que la carga estará siempre bien balanceada, se elimina el cuarto alambre. Esto implica un sistema trifásico de tres hilos. En las figuras se presentan los sistemas trifásicos de tres hilos con carga trifásica balanceada conectada en delta y estrella.

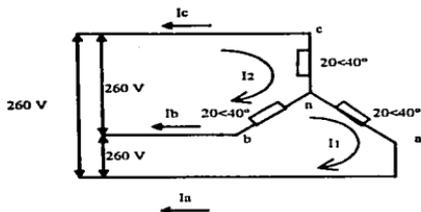
La dificultad de la conexión con carga balanceada es que un desbalance en la impedancia de carga produce voltajes desbalanceados entre las fases de la carga, aunque los tres voltajes generados puedan estar perfectamente balanceados.



Sistema trifásico de 4 hilos

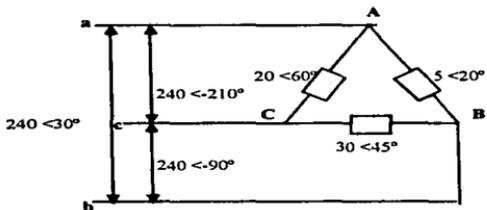


Carga 3 $\phi$  balanceada conectada en delta

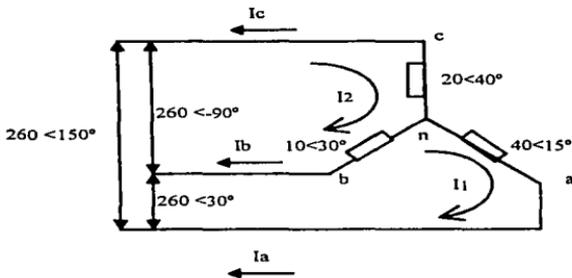


Carga 3 $\phi$  balanceada conectada en estrella

Cuando se conectan cargas trifásicas desbalanceadas (impedancias de carga por fase, con diferente magnitud y ángulo) ya sea en delta o estrella, a fuentes trifásicas balanceadas, las que circularan a través de las fases o líneas y de las impedancias de carga serán distintas y no presentaran un ángulo de defasamiento de  $120^\circ$  entre sí. En estas condiciones no es factible utilizar el diagrama unifilar; además, en caso de haber línea neutra si habría corriente circulando por ella. En las figuras se muestra la carga trifásica desbalanceada conectada en delta y en estrella.



Carga trifásica desbalanceada conectada en delta



Carga trifásica desbalanceada conectada en estrella

### 1.9.1 Porcentaje límite de desbalanceo

En instalaciones eléctricas en las que se suministra el servicio con dos o con tres hilos de corriente y neutro, cuando el desbalanceo es mayor a 5% entre dos de ellas, la facturación por consumo de energía no es considerando las lecturas de los tres medidores, sino que se hace tomando un consumo igual a tres veces el registrado en la fase más cargada.

La fórmula para encontrar el desbalance entre fases es la siguiente:

$$\frac{(\text{Carga max.} - \text{Carga min.})}{\text{Carga max.}} \times 100 = \% \text{ de desbalance}$$

### 1.9.2 Causas de desbalanceo en un sistema

Los sistemas se desbalancean principalmente por:

- 1) Entrada y salida de cargas monofásicas y bifásicas.
- 2) Excesos de carga.
  - Derivaciones improvisadas
  - Falsos contactos (mala instalación, vibración, suciedad, desgastes)
  - Fallas monofásicas y bifásicas
  - Apertura de una fase y dos fases
  - Cuerpos extraños en líneas
  - Accidentes
  - Condiciones atmosféricas
  - Fallas humanas no calificadas.
  - Fraudes (tíanguis, paracaidistas)

### 1.10 Instalación Eléctrica

Conjunto de obras de ingeniería, edificios, máquinas, aparatos, líneas y accesorios que sirven para la producción, conversión, transformación, transporte, distribución y utilización de energía eléctrica. Se aplica también esta denominación a un solo conjunto de máquinas eléctricas, de equipo eléctrico o de aparatos receptores.

Los aparatos receptores de energía eléctrica son de tan diversa índole, que tratando de englobarlos en forma rápida y sencilla, se puede decir que son los siguientes:

Todo tipo de lámparas, aparatos electrodomésticos, de oficina, de comercio, aparatos y equipos de calefacción y aire acondicionado, de intercomunicación, señales luminosas, señales audibles, elevadores, motores, prensas, montacargas, máquinas de desbaste, etc.

## **CAPITULO II**

### **AHORRO DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS**

Como hemos visto la energía eléctrica es la fuerza que mueve a las industrias, centros comerciales, hospitales, hoteles, escuelas y zonas residenciales. Sin energía los sectores anteriores y todas nuestras actividades diarias se detendrían, provocando que economías enteras entraran en crisis.

Las expectativas de industrialización, la necesidad de crear empleos y los rezagos en la satisfacción de las crecientes necesidades sociales reclaman una mayor disponibilidad de energía.

El hecho de suministrar la energía requerida siguiendo los ineficientes programas de consumo del aparato productivo, implica un crecimiento del 8% anual, lo que significaría crear en 10 años una capacidad de generación de energía igual a la que va instalada en lo que va del siglo.

Si el Gobierno Federal invirtiera en la construcción de Plantas Hidroeléctricas, que resultan más convenientes por no requerir el uso de hidrocarburos y no emitir partículas contaminantes al medio ambiente, le impediría satisfacer otras necesidades sociales: empleos, carreteras, escuelas, hospitales, etc.

Las Plantas Nucleoeléctricas provocarían un alto riesgo para la humanidad: radiaciones nucleares, el manejo de desechos radiactivos, elevado costo de operación, mantenimiento e instalaciones, etc.

Las Plantas Termoeléctricas quedan descartadas debido a que los combustibles fósiles, su fuente de energía natural se están agotando, y sin pretender ser alarmistas según los expertos, la carencia de estos recursos pueden desencadenar dos catástrofes a nivel mundial: la energética y la ecológica.

Por lo tanto estas exigencias se encuentran evidentemente fuera de las posibilidades económicas de nuestro país.

Fuentes oficiales pronostican que si no se reconoce la magnitud del problema y no se realizan acciones correctivas, nuestro petróleo se terminaría en el año 2010, acompañado de una crisis energética y graves daños ambientales.

La única alternativa es el desarrollo fuentes de energía alternas, combustibles mas limpios, promover la cogeneración, fomentar el uso racional de la energía eléctrica y crear un programa de ahorro a nivel nacional.

Para la implementación de estas medidas se deberá partir de las siguientes consideraciones:

1. Muchos de los adelantos logrados en países desarrollados no son directamente aplicables al nuestro por las características de la estructura industrial nacional, por lo que es necesario una seria adaptación tecnológica.

2. La experiencia muestra que cada vez hay mas personas y sobre todo industrias interesadas en utilizar mejor su energía, para disminuir costos y abatir la contaminación, pero no saben o no pueden hacerlo.

3. Se observa la escasez de recursos humanos preparados en Ingeniería Energética, con visión de conjunto de la optimización del uso de la energía en plantas y procesos.

4. La aplicación de una metodología para el diagnóstico de energía adaptada a las necesidades nacionales es una herramienta sin la cual los programas de ahorro de energía tienen serias oportunidades de fracasar.

5. Adecuar el marco legal para la creación de sistemas de cogeneración.

6. Promover y crear una cultura de ahorro y uso eficiente de energía a nivel nacional.

Solo aquellos que hacen el mejor uso de la energía, pueden prosperar en un mundo cada día más competitivo. Además el hecho de ahorrar energía es una de las claves para abatir costos y poder competir a la par con industrias de todo el mundo, en una economía que tiende a la globalidad inevitable.

## **CAPITULO III**

### **ELEMENTOS BÁSICOS DE UN PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

1. Prueba de la necesidad.
2. Compromiso y apoyo de la alta dirección.
3. Adopción de una nueva filosofía y cultura energética.
4. Diagnóstico energético.
5. Diseño de un plan.
6. Organización y formación de equipos de trabajo.
7. Aplicación de acciones y medidas.
8. Capacitación y entrenamiento.
9. Supervisión y control.

Un programa de ahorro de energía eléctrica, se caracteriza por basarse en el principio de la unidad temporal. Esto significa que los elementos que lo constituyen no se aplican o desarrollan bajo un orden o procedimiento previamente establecido, esto es, se adecuan a las circunstancias y situación de las empresas, así como al grado de avance en su Programa de Ahorro de Energía.

Lo anterior permite afirmar que una empresa puede desarrollar su sistema de ahorro de energía eléctrica, iniciando por la formación de equipos de trabajo y no necesariamente por la prueba de la necesidad, el compromiso de la alta dirección o el diagnóstico energético.

Otro elemento que es importante subrayar, es el hecho de que un programa de ahorro de energía eléctrica es permanente, siendo su principio fundamental, "hacerlo de nuevo" y "mejoramiento constante".

Un análisis de cada uno de estos elementos permitirá la mejor comprensión de los mismos.

#### **3.1 Prueba de la necesidad**

El argumento más sólido para mostrar las ventajas del ahorro de energía eléctrica, es la alta rentabilidad del mismo. En la mayoría de las empresas existen importantes potenciales de ahorro cuyo logro, en muchas ocasiones, no requiere inversión y cuando se necesita esta se recupera en períodos que van de los 2 a los 18 meses.

Adicionalmente el ahorro de energía trae como consecuencia la disminución en los costos de producción y un menor impacto sobre el medio ambiente.

En términos concretos, el ahorro de energía eléctrica es un "buen negocio" por lo que la aplicación de programas en este campo no es un gasto, sino una inversión altamente rentable.

### **3.2 Compromiso y apoyo de la alta dirección**

Para lograr la aplicación y éxito de un programa de ahorro de energía eléctrica, es indispensable contar tanto con la autorización como con la participación de la alta dirección de las empresas y, en su caso, de los grupos corporativos.

### **3.3 Adopción de una nueva filosofía y cultura energética.**

Con el fin de lograr que el Programa de ahorro de Energía tenga éxito, es necesario contar con la participación de los diferentes niveles de personal de la planta, esto con el fin de innovar ante la resistencia del cambio las barreras del personal hacia proyectos que, con el ahorro de energía eléctrica, les resulten novedosos. Para lograr lo anterior se debe diseñar y poner en marcha una campaña de concientización, mediante la cual se promueva el ahorro de energía eléctrica desde los niveles de intendencia, hasta funcionarios y directivos de las empresas. Pasando por obreros, supervisores, ingenieros y mandos medios.

Con el fin de mantener vigente la participación del personal de la empresa, es necesario estimular y reconocer las aportaciones que el personal haga hacia el ahorro de energía eléctrica, a través de estímulos y reconocimientos a su labor.

### **3.4 Diagnóstico Energético.**

Con el fin de determinar el grado de eficiencia con el que es utilizada la energía, establecer las áreas de oportunidad y precisar las potenciales medidas e inversiones para lograr ahorros de energía eléctrica, es indispensable llevar a cabo diagnósticos energéticos con la instrumentación necesaria para conocer la operación de la planta. Estos diagnósticos se realizan a nivel de área operativa, sistema energético y principales equipos consumidores.

### **3.5 Diseño de un Plan**

Una vez definidos los potenciales y medidas de ahorro, es posible establecer con un alto grado de precisión, las metas a alcanzar, los tiempos requeridos y el presupuesto asignado para llevar a cabo las acciones que se consideran más adecuadas y de mayor rentabilidad.

Este Plan de Ahorro de Energía debe de considerar al menos tres etapas: la etapa de corto plazo en las que se aplican medidas de ahorro que no requieren inversión, o que esta es marginal. Este tipo de medidas se orientan hacia la eliminación de fugas y desperdicios, las correcciones de hábitos operativos y la optimización de las actividades de mantenimiento.

En la segunda etapa se requiere invertir recursos económicos para medidas, cuyo período de recuperación va de los 6 a los 18 meses. El tiempo de medidas a aplicar en esta segunda etapa, se enfoca a la sustitución de equipos

consumidores de energía eléctrica por otros de mayor eficiencia, así como la instalación de los equipos mediante los cuales sea posible controlar y optimizar el uso de este energético. Tales como sistemas automáticos para control de demanda y factor de potencia, variadores de velocidad, sensores de presencia entre otros.

La tercera etapa, se enfoca a la aplicación de medidas que implican modificaciones al proceso y/o tecnología, cuyas inversiones al considerar la sustitución de equipos, o la incorporación de otras tecnologías, requieren inversiones cuya magnitud implica que su período de recuperación sea mayor a los dos años. En este tipo de proyectos se incluyen algunos otros como la autogeneración y la cogeneración.

Es importante que este plan se sustente en la congruencia y complementariedad de las metas establecidas y los recursos disponibles.

### 3.6 Organización y formación de equipos de trabajo

Una vez que se tenga definido el programa de acciones con los tiempos y recursos necesarios, el siguiente paso consiste en definir a los responsables de llevar a cabo este programa, para tal fin hay distintas alternativas.

Una alternativa es la creación de un área dentro del organigrama de la empresa, responsable en forma específica del ahorro de energía eléctrica. Una segunda alternativa es la formulación de un comité o grupo de trabajo integrado por las diferentes áreas que influyen o son responsables de la operación energética de la empresa; por último una tercera alternativa, que puede ser adicional o complementaria, es la contratación de firmas de Ingeniería Especializada en este campo, para que asesoren a la dirección y a las distintas áreas operativas en el desarrollo de los programas de ahorro de energía.

Independientemente del tipo de alternativa que se seleccione, se debe de buscar que el esquema de organización permita que periódicamente se lleven a cabo las reuniones de intercambio en las que participen las distintas áreas involucradas en este programa, esto hará posible eliminar barreras interdepartamentales que en muchas ocasiones impiden el buen desarrollo y éxito de los programas de optimización energética. Otro punto que es indispensable considerar, es la participación directa en estos esquemas de organización de la alta dirección de la empresa o grupo corporativo.

### 3.7 Aplicación de Acciones y Medidas

Una vez establecida la infraestructura básica del programa de ahorro de energía, en la que se incluye el plan y la organización para buscar ahorros de energía eléctrica, el siguiente paso es llevar a cabo el conjunto de acciones y medidas establecidas, iniciando con acciones correctivas que permitan eliminar fugas y desperdicios de energía eléctrica.

### **3.8 Capacitación y Entrenamiento.**

Con el fin de contar con recursos humanos especializados en ahorro de energía, es indispensable llevar a cabo un programa que permita proporcionar no solo los conocimientos teóricos, sino también la experiencia práctica para realizar las distintas actividades incluidas en el programa de ahorro. Esto implica que la capacitación en aula, debe ser reforzada mediante entrenamiento a través de prácticas en las plantas industriales.

### **3.9 Supervisión y Control**

Uno de los principios fundamentales que se debe considerar en un programa de ahorro de energía eléctrica. Es su permanencia, es decir, esta no es una actividad de carácter temporal, sino una función de la empresa.

Para lograr la permanencia de estos programas, es necesario contar con un procedimiento sistemático para el monitoreo de la eficiencia energética con que opera la planta, y otro que permita monitorear el desarrollo del programa y la aplicación de acciones. Para este fin se requiere diseñar y operar un sistema integral de información energética, el cual deberá ser definido en función de las necesidades, nivel y magnitud de la información, así como de los recursos informáticos de los que dispongan las empresas.

## **CAPITULO IV**

### **DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO**

Es la aplicación de un conjunto de técnicas que permiten determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico en una instalación consumidora de energía, para así establecer el punto de partida para la implementación y control de un Programa de Ahorro de Energía, ya que se determina donde y como es utilizada la misma, además de especificar cuanta es desperdiciada.

#### **Objetivos:**

Establecer metas de ahorro de energía.

Diseñar y aplicar un sistema integral para el ahorro de energía.

Evaluar técnica y económicamente las medidas de conservación y ahorro de energía

Disminuir el consumo de energía, sin afectar los niveles de producción.

#### **Actividades:**

Para determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía, se requiere realizar diversas actividades entre las que se pueden mencionar:

Medir los distintos flujos energéticos.

Registrar las condiciones de operación de equipos, instalaciones y procesos.

Efectuar balances de materia y energía.

Calcular índices energéticos o de productividad, energéticos reales y actualizar los de diseño.

Determinar potenciales de ahorro.

Darle seguimiento al programa mediante la aplicación de listas de verificación de oportunidades de conservación y ahorro de energía.

La inclusión de los balances tiene como finalidad contar con un método sistemático y oportuno de detección de pérdidas y desperdicios de energía.

#### **4.1 DIAGNOSTICOS DE PRIMER GRADO**

Detectar medidas de ahorro inmediatas, con poca inversión.

Inspección visual de las instalaciones y detección de fallas.

Análisis de registros de operación y mantenimiento de las instalaciones.

Análisis de la información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica.

Cuantificar los costos y posibles ahorros producto de la administración de la demanda de energía eléctrica y corrección del factor de potencia.

#### **4.2 DIAGNÓSTICO DE SEGUNDO GRADO**

Evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos intensivos en su uso.

Análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos.

La información obtenida directamente en campo se compara con la de diseño, con objeto de obtener las variaciones de eficiencia.

Evaluar desde el punto de vista económico las medidas que se recomienden llevar acabo.

#### **4.3 DIAGNÓSTICO DE TERCER GRADO**

Análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación por especialistas de cada área, mediante el uso de equipo especializado de medición y control.

Uso de técnicas de simulación de procesos.

Modificaciones a los equipos, procesos e incluso de las tecnologías utilizadas.

Evaluación económica debe ser rigurosa debido a que las inversiones de estos diagnósticos son altas.

Determinar el período de recuperación de la inversión.

#### **4.4 CONSIDERACIONES PARA REALIZAR DE UN DIAGNÓSTICO.**

Para que un diagnóstico sea valido debe apoyarse en mediciones confiables, precisas y ofrecer de manera concreta recomendaciones de acción.

Antes de diagnosticar es indispensable precisar qué, cómo, cuándo y donde medir.

Es cierto que no todos los conceptos que integran un diagnóstico son resueltos con mediciones. Sin embargo aquellos referidos a instalaciones existentes, modificaciones, ampliaciones o gestión tecnológica invariablemente se apoyaran en mediciones hechas in situ.

Cuanto más complejo es el sistema, más exigente es el monitoreo que requiere el uso, tanto de la energía productiva como el de la improductiva.

La selección apropiada de los instrumentos de medición a utilizar, es vital en la conducción de un diagnóstico energético.

La buena administración y control de energía, así como las recomendaciones y acciones, solo son acertadas y validas si se ha resuelto el problema de lograr mediciones confiables.

Una condición que debe reunir un servicio eléctrico para tener un factor de carga cercano a la unidad, consiste en tener, asimismo, una curva de carga tan parecida a un rectángulo como sea posible. Consecuentemente, el primer paso deberá ser la obtención de un perfil de la carga a lo largo de las 24 horas de un día que se considere representativo.

Solo así se podría estar en condiciones para hacer un diagnóstico lo mas acertado posible con base en los siguientes aspectos:

- Existencia o no de picos
- Duración de los picos
- Magnitud de los picos
- Horario de los picos
- Origen de los picos
- Posibilidades de abatir los picos

Debe observarse que cualquier intento que se haga sin considerar el perfil de carga resultara infructuoso, ya que el factor de carga proveniente, por ejemplo, de una facturación mensual, será un valor promedio que estará influenciado por los días de descanso o baja producción. Así, se podrán encontrar servicios con factores de carga relativamente bajos y, sin embargo, con perfiles de carga cercanos a la condición óptima y en los cuales no se podrán hacer mejoras. Esto se comprueba en industrias pequeñas que operan un solo turno, pero que durante las 8 horas correspondientes tienen una demanda estable.

La administración de la demanda consiste en eliminar los picos de la curva de carga de cualquier servicio de energía eléctrica, de tal manera que el mismo consumo se haga dentro de las horas de los valles de la misma curva. Esto es así porque la finalidad consiste en aumentar el factor de carga para obtener el menor precio según la estructura tarifaria. Es obvio que si se elimina algún consumo sin reponerse en otro horario no será administración de demanda, porque al disminuir también la demanda el factor de carga se conserva en el mismo valor, aunque haya una disminución en la factura global.

Una gran aportación a la reducción del consumo de electricidad se puede lograr con la utilización de lamparas más eficientes. Es importante recordar que casi el 20% del consumo total de energía eléctrica se debe a la iluminación y el 80% restante a motores eléctricos y otros equipos.

## CAPITULO V

### EQUIPO PARA MEDICIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

#### 5.1 INSTRUMENTACION PARA LA REALIZACION DE UN DIAGNÓSTICO.

La selección apropiada de los instrumentos que se utilicen es parte esencial de la elaboración del diagnóstico, ya que de los resultados obtenidos se derivaran las recomendaciones para incrementar la eficiencia energética del proceso y de los diversos sistemas empleados en la empresa.

Independientemente de determinar el número y localización de instrumentos de instalación permanente, deben seleccionarse los instrumentos portátiles que puedan requerirse para el diagnóstico. En muchos casos, uno solo de estos puede económicamente sustituir a varios instrumentos en diferentes localizaciones y puntos de medición de la misma índole.

Debe verse la posibilidad de usar los dispositivos de medición en planta y el máximo de mediciones posibles con instrumentos portátiles.

Aunque comercialmente hay una variedad ilimitada de elementos secundarios para transmisión, muestreo y registro de datos, aquí solo se pretende lograr una familiarización del lector con la mayoría de los instrumentos básicos de diagnósticos.

En la realización de cualquier diagnóstico energético, la precisión y confiabilidad con que se lleve a cabo la medición, determinará la validez de los resultados del estudio.

INSTRUMENTOS BASICOS PARA DIAGNÓSTICO ELÉCTRICO	
INSTALACION PERMANENTE	PORTATIL
CORRIENTE AC CORRIENTE DC VOLTAJE AC VOLTAJE DC VA REACTIVOS FACTOR DE POTENCIA DEMANDA MÁXIMA POTENCIA ACTIVA CONSUMO FRECUENCIA RESISTENCIA NIVEL DE ILUMINACIÓN	AMPERIMETRO WATTIMETRO VOLTIMETRO MULTIMETRO V/C/R FACTORIMETRO/VARIOS ANALIZADOR DE DEMANDAS ELÉCTRICAS OSCILOSCOPIO ANALIZADOR DE VIBRACIONES ESTROBOSCOPIO PROBADOR DE RESISTENCIA DIELECTRICA LUXOMETRO POTENCIOMETRO/TERMOPARES TERMOGRAFO CAMARA DE RAYOS INFRARROJOS TERMOMETRO PORTATIL CINTRA METRICA TACOMETRO DINAMOMETRO

## **5.2 DISPOSITIVOS Y EQUIPOS DE CONTROL PARA EL AHORRO DE ENERGÍA**

### **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.

### **5.2.1 Control de equipo eléctrico en la industria y el comercio**

En toda industria o comercio en que no operen 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.

### **5.2.2 Control de iluminación**

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

### **5.2.3 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 aire acondicionado y ventilación en forma óptima, considerando las condiciones externas del ambiente, así como las cargas térmicas y los tiempos de calentamiento y enfriamiento de los edificios.

### **5.2.4 Limitación y control de la demanda**

Se recomienda utilizar dispositivos y equipos 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 mantenerla demanda dentro de los valores previamente fijados.

### **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 requieran operar permanentemente como extractores de baño, hidromasajes, equipos deportivos y otros.

## Tipos

Algunos dispositivos y equipo 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.

Fotoceldas para alumbrado fluorescente con balastro electrónico para regular la intensidad luminosa.

Fotoceldas 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 temperaturas y tiempo)

### b) Equipos para el ahorro de energía

Lámparas ahorradoras de energía

Balastos

a) Electrónicos

b) Electromagnéticos de bajas pérdidas

c) Híbridos

Luminarios con reflectores especulares

Motores de alta eficiencia (nueva tecnología)

Aplicaciones de dispositivos de control para el ahorro de la energía

Dispositivos	Aplicación
Sensores (Fotoceldas, de movimiento, etc.)	Monitorean las condiciones de iluminación, presencia, movimiento, temperatura, etc. del espacio o área que cubren, para mantener por medio de controles, esas condiciones, en los niveles, situaciones o valores deseados. Se pueden utilizar en oficinas, centros y edificios comerciales, industrias, restaurantes, hospitales, escuelas, hoteles, casas habitación, vías públicas, etc.
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, etc.
Controles estáticos para motores	Controlan el arranque, la aceleración y la velocidad de los motores. Se pueden utilizar en la industria, centros comerciales, edificios de oficina, etc.
Atenuadores o reguladores de iluminación	Controlan sistemas de iluminación incandescentes, fluorescentes y de descarga de alta intensidad. Se pueden utilizar en centros comerciales, teatros, salas de conferencias, etc.

## CAPITULO VI

### ASPECTOS BASICOS DEL FACTOR DE POTENCIA ORIENTADOS AL AHORRO DE ENERGÍA ELECTRICA

Operar con bajo factor de potencia una instalación eléctrica, además del impacto en el pago de la electricidad, tiene otras muchas complicaciones, particularmente 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 artículos, libros y revistas especializadas. Sin embargo, el factor de potencia es un problema permanente y de gran importancia para todos aquellos cuya actividad se relaciona con el diseño, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas.

En los circuitos eléctricos de corriente directa, la potencia es el producto del voltaje por la corriente; es decir es el resultado de multiplicar los volts por los amperes. Sin embargo en los circuitos de corriente alterna, entre estas cantidades se llega a presentar un ángulo, siendo su coseno su factor de corrección por el que hay que multiplicar el producto del voltaje por la corriente (potencia aparente), para obtener la potencia real, es decir:

$$P = V_i \times \cos \phi$$

donde:

P = Potencia real en watts (W)

V = Voltaje en volts (V)

i = Corriente en amperes (A)

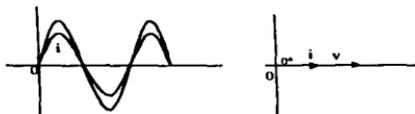
$V_i$  = Potencia aparente en voltamperes (VA)

$\phi$  = Ángulo de fase en grados (°)

La potencia real en electricidad se designa usualmente como potencia activa y el factor de corrección  $\cos\phi$ , como factor de potencia o simplemente FP. Con frecuencia suele multiplicarse por 100 a  $\cos\phi$  para expresarlo en porcentaje.

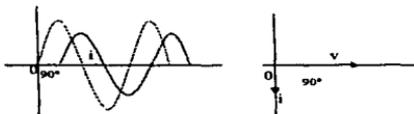
El ángulo de fase o defasamiento entre el voltaje y la corriente, depende de la carga que se este alimentando. En los circuitos eléctricos se distinguen dos tipos básicos: cargas resistivas y cargas reactivas. Estas últimas se dividen a su vez en cargas capacitivas e inductivas.

Al aplicar voltaje a una carga resistiva, la corriente que toma se encuentra en fase con este, es decir el defasamiento es igual a 0° como puede observarse en la fig., donde se muestran las ondas de voltaje y corriente y su representación por medio de vectores gráficos.

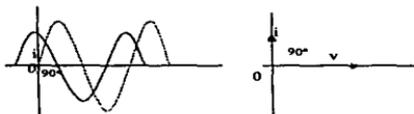


Voltaje y corriente en una carga resistiva

En el caso de cargas reactivas, la corriente se defasa  $90^\circ$ , en atraso si es inductiva y en adelante si es capacitiva.



Voltaje y corriente en una carga reactiva inductiva



Voltaje y corriente en una carga reactiva capacitiva

La mayoría de las cargas en las instalaciones eléctricas son una combinación de los tipos básicos que se han descritos, predominando las de naturaleza inductiva como: motores de inducción, balastos para lámparas fluorescentes, soldadoras de arco, etc., cuyo factor de potencia es en retraso, por el retardo de la corriente con relación al voltaje. Precisamente las cargas inductivas, son el origen del bajo factor de potencia, con los inconvenientes que ocasiona, y para contrarrestarlas se emplean cargas capacitivas que por sus características se oponen a sus efectos.

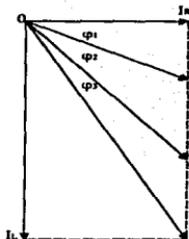
En la tabla se indican valores típicos de factor de potencia, expresado en por ciento, para diferentes equipos industriales, donde los valores corresponden a factores de potencia en atraso, con excepción de los capacitores donde el factor de potencia es en adelante, y de los motores y condensadores síncronos, que pueden presentar las dos características.

Equipo	Factor de Potencia
-Motores de inducción	
De fase partida	55 a 75
De fase partida integrales	75 a 85
Polifásicos jaula de ardilla de alta velocidad	75 a 90
De baja velocidad	70 a 85
-Soldadoras de tipo transformador	50 a 60
-Soldadoras de tipo motor generador	50 a 70
-Hornos eléctricos de arco	80 a 90
-Hornos eléctricos de inducción	60 a 70
-Compresoras de aire	50 a 80
-Soldadoras de arco	35 a 60
-Alumbrado con lámparas de descarga	70 a 80
-Alumbrado fluorescente	75 a 80
-Lámparas incandescentes	100
-Hornos y aparatos de calefacción a base de resistencias eléctricas	100
-Motores síncronos	Variable
-Condensadores síncronos	Variable
-Capacitores (en adelante)	85 a 95

### 6.1 Inconvenientes de un bajo factor de potencia

Las cargas eléctricas pueden consumir potencia reactiva en tal magnitud, que afecten al factor de potencia de una instalación. En la figura se puede observar que cuanto mayor sea la corriente reactiva  $I_r$ , mayor es el ángulo  $\phi$  y por lo tanto, mas bajo el factor de potencia.

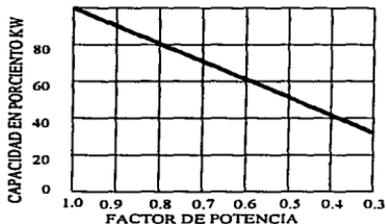
A la par se tiene un incremento en la corriente total  $I$  con serios inconvenientes, no solo para el usuario sino también para la compañía de suministro de energía eléctrica, como los que se describen a continuación.



Disminución del factor de potencia  $\cos \phi$  al incrementarse la corriente reactiva.

Una disminución de la capacidad de los equipos de generación, distribución y maniobra de la energía eléctrica.

El tamaño de los conductores y otros componentes de los equipos mencionados, se diseñan para un cierto valor de corriente y, para no dañarlos, se deben operar sin que este se rebase, a riesgo de sufrir algún desperfecto. El exceso de corriente debido a un bajo factor de potencia, puede obligar a utilizar conductores de mayor calibre y por lo tanto más caros, e incluso en la necesidad de invertir en nuevos equipos de generación y transformación, si la corriente demandada llega a sobrepasar la capacidad de equipos existentes. En la fig. se muestra la curva típica de un transformador de distribución en donde se puede observar como su capacidad depende directamente del factor de potencia. Para valores reducidos de este la carga se ve notoriamente disminuida.

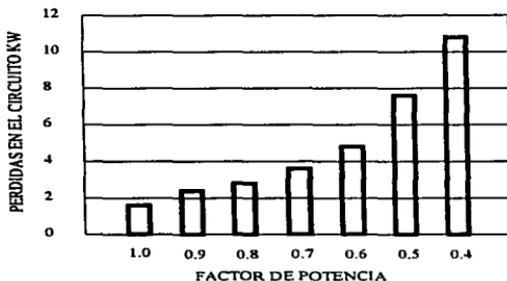


Influencia del factor de potencia en la capacidad de los transformadores

## 6.2 Un incremento en las pérdidas por calentamiento.

La potencia que se pierde por calentamiento esta dada por la expresión  $I^2R$ , donde  $I$  es la corriente total y  $R$  es la resistencia eléctrica de los equipos: bobinados de los generadores y transformadores, conductores de los circuitos de distribución, etc.

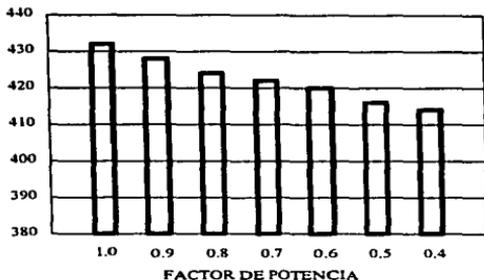
Como un bajo factor de potencia implica un incremento en la corriente total, debido al aumento de su componente reactiva, las perdidas pueden aumentar de manera significativa. La fig. muestra el efecto de factor de potencia en las perdidas de un circuito alimentador de 100 m de longitud conductores de calibre 2/0 440 V y una corriente de 150 A cuando trabaja con factor de potencia unitario. Obsérvese como las perdidas se incrementan conforme disminuye el factor de potencia. La variación es exponencial ya que las pérdidas dependen del cuadrado de la corriente.



Perdidas de un circuito alimentador de 100m, conductor calibre 2/0, 440 V y una corriente de 150 A con f.p. unitario

## 6.3 Una deficiente regulación de voltaje.

Un factor de potencia reducido ocasiona un abatimiento del voltaje de alimentación de las cargas eléctricas (motores, lámparas, etc.) que pueden experimentar una reducción sensible en su potencia de salida. Esta reducción del voltaje se debe en gran medida, a la caída que se experimenta en los conductores de transformadores y circuitos por la corriente en exceso que circula por ellos. Para el circuito descrito en el punto anterior, en la figura se muestra gráficamente la pérdida de voltaje que se presenta al reducirse el factor de potencia.



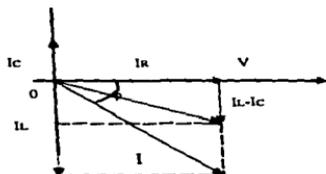
Efecto del factor de potencia en la regulación de voltaje

#### 6.4 Un incremento en la facturación de la energía eléctrica.

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 la factura de electricidad en instalaciones con un factor de potencia mayor al 90% y también se imponen cuotas a manera de multa si el factor de potencia es menor que la cifra señalada.

#### 6.5 Métodos de corrección del factor de potencia y ventajas del uso de capacitores.

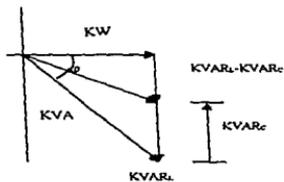
El primer paso para corregir el bajo factor de potencia es el de prevenirlo, para lo cual, se debe evitar en lo posible la demanda excesiva de potencia reactiva. Por ejemplo, adecuando la capacidad de los motores y transformadores a sus cargas reales. Sin embargo, con frecuencia esto no es suficiente y se deben emplear equipos auxiliares para corregirlo. Estos equipos de naturaleza capacitiva, toman una corriente en adelanto con respecto al voltaje, en el caso ideal a  $90^\circ$ , que se opone a la corriente inductiva de las cargas de la instalación, como se observa gráficamente en la figura, donde  $I_c$  se ve disminuida por la corriente capacitiva  $I_c$ , con la consiguiente reducción del ángulo  $\phi$  y de la corriente total  $I$ .



Efecto de una corriente capacitiva sobre una corriente inductiva

Otra manera de mostrar el efecto descrito es a través de las relaciones de potencia (fig) donde la potencia reactiva capacitiva  $KVAR_c$ , reduce el requerimiento de potencia  $KVAR_L$ , disminuyendo tanto el ángulo  $\phi$  como la potencia aparente KVA.

Por ningún motivo debe sobrecompensar la carga, ya que un exceso de  $KVAR_c$  es tan perjudicial como la falta de ellos. En la practica, principalmente por razones económicas, los  $KVAR_c$  no se cancelan totalmente, sino se les mantiene dentro de valores aceptables.



Efecto de la potencia reactiva capacitiva sobre la potencia de una carga predominante inductiva

Los equipos que se utilizan para compensar la potencia reactiva y así corregir el factor de potencia son básicamente: motores síncronos, capacitores síncronos y capacitores de potencia.

Motores síncronos. Estos motores pueden proporcionar un trabajo mecánico y, al mismo tiempo, comportarse como una carga capacitiva, en caso de operar sobreexcitados. Aunque pueden considerarse como una ayuda para mejorar el factor de potencia, no constituyen una forma de compensación fácilmente controlable. Se llegan a justificar cuando se requieren motores y de tamaño considerable con respecto a la instalación.

### **Capacitores síncronos.**

Son motores diseñados exclusivamente para corregir el factor de potencia. Generalmente, son de gran tamaño y capaces de proporcionar potencia reactiva, tanto de índice capacitivo como inductivo. Sin embargo, son equipos cuyo empleo implica una fuerte inversión inicial y un mantenimiento costoso, por lo que raramente son utilizados en plantas industriales.

### **Capacitores de potencia.**

Debido a su bajo costo, fácil instalación, pérdidas insignificantes mantenimiento casi nulo y la gran cantidad de combinaciones en que se pueden ensamblar, hacen de los capacitores la forma más práctica y económica para mejorar el factor de potencia.

Además, la inversión inicial en capacitores es rápidamente recuperable, tan solo por los ahorros que se tendrían, al evitar pagar los recargos que por bajo factor de potencia, se hacen en la cuenta de electricidad.

Los capacitores se agrupan en unidades o bancos, fijos o desconectables y se instalan en paralelo con las cargas inductivas, para compensar la potencia reactiva requerida por estas. Comercialmente se encuentran en diversos rangos; por ejemplo, en baja tensión en 240 y 480 V, en unidades de 5 a 120 KVAR; y en alta tensión de 2.4 a 20 KV, en unidades de 30 a 360 KVAR y aun mayores.

Cuando la potencia reactiva de una instalación presenta variaciones importantes, la corrección del factor de potencia frecuentemente involucra bancos de capacitores automáticos con unidades desconectables, que permiten adecuar de manera permanente, la potencia de los bancos a las necesidades cambiantes de la carga.

## **6.6 Determinación del factor de potencia en una instalación industrial**

Cuando se trata de cargas individuales, generalmente su factor de potencia es conocido o puede ser estimado a partir de los datos del fabricante. Si esto no es factible o se tiene un conjunto de cargas diferentes, tanto por su naturaleza como por sus instantes de conexión, es conveniente auxiliarse del equipo de medición.

El factor de potencia se puede evaluar en forma instantánea o en promedio para un intervalo. El conocimiento periódico de valores instantáneos, sobre todo en condiciones de demanda máxima, permite conocer su comportamiento y ofrece una perspectiva para controlarlo. En instalaciones donde la carga no este sujeta a grandes variaciones durante las horas de trabajo, un factor de potencia promedio puede ser considerado.

Existen varios métodos para definir y medir el factor de potencia, entre los cuales se tienen los que se mencionan a continuación:

Con un wattímetro, un voltímetro y un amperímetro.

Las lecturas de potencia activa (kW), voltaje y corriente de estos instrumentos dan el factor de potencia al sustituirse en las siguientes expresiones: la primera cuando la instalación es monofásica y la segunda cuando es trifásica, en las que V es el voltaje a neutro y entre fases respectivamente.

$$FP = \frac{kW}{\frac{VA}{1000}}$$

$$FP = \frac{kW}{\frac{1.73VA}{1000}}$$

Con un indicador de factor de potencia y un wattímetro.

En este caso, el indicador de factor de potencia (factorímetro) proporciona en forma directa el valor de  $\cos \phi$ . Adicionalmente la medición de la potencia activa, servirá para estimar la potencia capacitiva necesaria para corregirlo.

Con wathorímetro y varhorímetro.

El factor de potencia promedio durante un período, se puede calcular a partir de las lecturas de los medidores de energía activa (KWh) y reactiva (KVARh) mediante la siguiente fórmula:

$$FP = \frac{KWh}{\sqrt{(KWh)^2 + (KVARh)^2}}$$

En este caso la potencia activa promedio (kW), se determina dividiendo los KWh medidos, entre el número de horas que abarca el período considerado.

Precisamente el factor de potencia promedio, durante el ciclo de facturación, es empleado para la bonificación o recargo que por este concepto hagan las compañías eléctricas en la cuenta de electricidad y es el valor que aparece en el recibo.

6.7 Cálculo de la potencia reactiva de los capacitores para corregir el factor de potencia.

En una instalación cuya carga demanda una potencia activa de magnitud kW, con un factor de potencia  $\cos \phi_1$ , la potencia reactiva de los capacitores para corregirlo a un nuevo valor  $\cos \phi_2$ , se puede calcular aplicando directamente la siguiente expresión, derivada de las relaciones del triángulo rectángulo representativo de las potencias total, activa y reactiva.

$$KVAR_c = KW(\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

Con objeto de simplificar los cálculos, los fabricantes de capacitores han preparado material auxiliar, como el de la tabla, en la que se puede encontrar

rápídamente el valor del multiplicador ( $\tan \phi_1$  -  $\tan \phi_2$ ). El factor de potencia que se desea corregir, esta mostrado como ordenada y el factor de potencia deseado como abscisa. La magnitud del multiplicador es leído en la intersección.

FACTOR DE POTENCIA ORIGINAL $\cos \phi$	FACTOR DE POTENCIA QUE SE DESEA, $\cos \phi$						
	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.90
0.65	1.189	1.027	0.966	0.918	0.878	0.840	0.685
0.66	1.138	0.996	0.935	0.887	0.847	0.809	0.654
0.67	1.108	0.966	0.905	0.857	0.817	0.779	0.624
0.68	1.079	0.937	0.876	0.828	0.788	0.750	0.595
0.69	1.049	0.907	0.840	0.798	0.758	0.720	0.565
0.70	1.020	0.878	0.811	0.769	0.729	0.691	0.536
0.71	0.992	0.850	0.783	0.741	0.701	0.663	0.508
0.72	0.963	0.821	0.754	0.712	0.672	0.634	0.479
0.73	0.936	0.794	0.733	0.686	0.645	0.608	0.452
0.74	0.909	0.766	0.706	0.658	0.617	0.580	0.425
0.75	0.882	0.739	0.679	0.631	0.590	0.553	0.398
0.76	0.855	0.713	0.652	0.605	0.563	0.526	0.371
0.77	0.829	0.686	0.626	0.578	0.537	0.500	0.344
0.78	0.802	0.660	0.599	0.552	0.511	0.474	0.318
0.79	0.776	0.634	0.573	0.525	0.484	0.447	0.292
0.80	0.750	0.608	0.547	0.499	0.458	0.421	0.266
0.81	0.724	0.581	0.521	0.473	0.432	0.395	0.240
0.82	0.698	0.556	0.495	0.447	0.406	0.369	0.214
0.83	0.672	0.530	0.469	0.421	0.380	0.343	0.188
0.84	0.646	0.503	0.443	0.395	0.354	0.317	0.162
0.85	0.620	0.477	0.417	0.369	0.328	0.291	0.135
0.86	0.593	0.451	0.390	0.343	0.302	0.265	0.109
0.87	0.567	0.424	0.364	0.316	0.275	0.238	0.082
0.88	0.540	0.397	0.337	0.289	0.248	0.211	0.055
0.89	0.512	0.370	0.309	0.262	0.221	0.184	0.028
0.90	0.484	0.342	0.281	0.234	0.193	0.156	
0.91	0.456	0.313	0.253	0.205	0.164	0.127	
0.92	0.426	0.284	0.223	0.175	0.134	0.097	
0.93	0.395	0.253	0.192	0.145	0.104	0.067	
0.94	0.363	0.220	0.160	0.112	0.071	0.034	
0.95	0.329	0.186	0.126	0.078	0.037		
0.96	0.292	0.149	0.089	0.041			
0.97	0.251	0.108	0.048				
0.98	0.203	0.061					
0.99	0.142						

Cuando la carga que se va a compensar no presenta variaciones importantes durante la jornada de trabajo, para calcular la potencia de los capacitores se puede considerar el factor de potencia promedio, por ejemplo durante el período de facturación y una potencia media de kW, que se calcularía como se ha indicado con anterioridad.

Si la carga presenta cambios significativos puede emplearse tanto el factor de potencia, como la potencia en condiciones de demanda máxima. Se debe tener cuidado de que los capacitores seleccionados, no causen una sobrecompensación, cuando se este en condiciones de mínima carga, ya que esta se traduciría en una elevación de voltaje, la cual podría alcanzar valores peligrosos. Si esto ocurriera, debe considerarse la instalación de bancos desconectables, con los que se puede mantener un factor de potencia dentro de un rango apropiado.

Otra alternativa para evitar una sobrecompensación, consiste en instalar los capacitores junto con las cargas, de tal forma que solo estén en servicio, cuando estas estén conectadas. Esta solución, generalmente mas costosa, se llega a justificar en equipos de potencia importante.

### 6.8 Consideraciones para la localización de los capacitores

Como se ha indicado la forma mas practica y económica para corregir el factor de potencia, es mediante de capacitores de potencia, los cuales se pueden situar en distintos puntos de una instalación eléctrica, como se muestra en la figura. Sin embargo, mientras mas cerca se conecten a la carga por compensar, mayor es el beneficio que reportan, ya que la potencia reactiva es confinada a segmentos pequeños de la instalación. El caso ideal sería colocar los capacitores junto a cada carga inductiva, pero debido al alto costo que esto representa, se opta por soluciones intermedias.

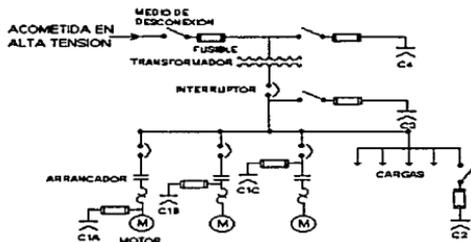


Diagrama de una instalación eléctrica en donde se muestra la localización de capacitores para corregir el factor de potencia.

Dependiendo de la localización de los capacitores, se distinguen cuatro tipos de compensación, los cuales se describen a continuación:

**Compensación individual.**

Esta se justifica como en el caso de cargas como motores de mediana y gran capacidad, de preferencia con ciclos significativos de trabajo, de tal forma que los capacitores tengan un alto factor de servicio. Los puntos  $C_{1A}$ ,  $C_{1B}$  y  $C_{1C}$  indican tres posibles localizaciones en donde un interruptor extra para los capacitores no es necesario, ya que pueden operarse con el mismo interruptor de la carga que van a compensar.

Nótese que en los dos primeros, los capacitores son energizados a través de los arrancadores de los motores, por lo que solo estarán en servicio cuando estos estén trabajando. Sin embargo, como los capacitores quedan conectados a las terminales de los motores cuando se interrumpe la alimentación, es importante que su potencia no exceda la necesaria para corregir el factor de potencia de los motores a la unidad, ya que de tener un factor de potencia adelantado, pueden ocurrir sobrevoltajes que dañen el aislamiento de los motores y anomalías en el par motor que sometan sus partes mecánicas a esfuerzos excesivos. Lo anterior en particular, en accionamientos que sigan funcionando después de desconectar el motor, como ventiladores, sierras mecánicas, etc.

Una regla practica es la de que los KVAR en capacitores no excedan en magnitud la de los KVA que toman los motores cuando trabajan sin carga. En la tabla se da una orientación de la potencia de los capacitores para compensar individualmente motores trifásicos de inducción en función de la potencia y de la velocidad síncrona. La potencia de los capacitores esta en KVAR.

Los inconvenientes que se han mencionado se pueden prevenir instalando los capacitores en el punto  $C_{1C}$ ; si bien, los capacitores podrían quedar permanentemente conectados a la instalación, con el riesgo de una elevación de voltaje, cuando los motores no estén trabajando. Sin embargo, hay casos en que la conexión directa de los capacitores es en extremo peligrosa y se opta por esta solución; tal como ocurre con motores reversibles, de varias velocidades, con ciclos frecuentes de arranque y paro y cuando se utilicen arrancadores con transición abierta o de estado sólido.

Potencia del motor CP	Velocidad de sincronismo del motor RPM					
	3600	1800	1200	900	720	600
10	2.5	4	4	5	5	7.5
15	2.5	5	5	7.5	7.5	10
20	5	5	5	7.5	10	12.5
25	5	7.5	7.5	10	10	15
30	7.5	10	10	10	12.5	15
40	10	10	10	12.5	15	17.5

50	12.5	12.5	12.5	15	20	22.5
60	15	15	15	17.5	22.5	25
75	17.5	17.5	17.5	20	27.5	30
100	22.5	22.5	22.5	25	35	37.5
125	25	27.5	27.5	30	40	47.5
150	32.5	35	35	37.5	47.5	55
200	42.5	42.5	42.5	45	60	67.5

#### Compensación en grupo.

Cuando se tienen varias cargas como motores y equipos de alumbrado de gran capacidad y ciclo de trabajo, en medida de lo posible, se pueden agrupar para compensar su potencia reactiva con un capacitor común, localizándolo en un punto de distribución como un tablero o un alimentador. La localización  $C_2$  ilustra este tipo de compensación, en donde las pérdidas solo se reducen al alimentador principal.

#### Compensación Central.

La potencia reactiva de un número de cargas de distintas capacidades y diferentes períodos de conexión, pueden ser compensadas con un banco único de capacitores generalmente instalado en la entrada de la instalación, con lo que se tiene una mejor utilización de la potencia de los capacitores y se mejora en general el nivel de voltaje, aunque no se reducen las pérdidas  $I^2R$ , como ocurre en los dos casos anteriores. Los puntos  $C_3$  y  $C_4$ , en baja y alta tensión corresponden a este tipo de compensación.

Económicamente resulta más conveniente instalar capacitores en alta tensión, pero si se requiere aumentar la capacidad de la carga de los transformadores de distribución, los capacitores se deben instalar en el lado de baja, para disminuir la corriente reactiva que pasa por ellos. En este caso, se recomienda que la potencia de los capacitores no exceda el 10% de la capacidad del transformador, con lo que se evita problemas de resonancia y se reducen las pérdidas cuando trabaja en vacío.

En la tabla se tiene una guía del orden de la magnitud de la potencia de los capacitores en KVAR, en función de la potencia nominal de los transformadores y de su voltaje de línea.

Potencia del Transformador KVA	Voltaje de la línea KV		
	5/13	15/23	25/34
25	2	2.5	3
50	3.5	5	6
75	5	6	7
100	6	8	10
160	10	12.5	15
250	15	18	22
315	18	20	24
400	20	22.5	28
630	28	32.5	40

### Compensación mixta.

En el caso de las instalaciones en las que se tienen grandes motores u otras cargas con un gran consumo de reactivos, en comparación con el resto de las cargas, suele ser conveniente combinar los arreglos anteriores. Por ejemplo, compensando individualmente las cargas de gran capacidad y para los restantes, instalar bancos de capacitores con compensación en grupo o central.

### Bancos de capacitores automáticos

La demanda de reactivos en las plantas industriales, suele presentar variaciones en el transcurso de la jornada, que dependen de los equipos instalados y de sus ciclos de trabajo. Cuando las variaciones son significativas, como en las instalaciones de hornos, equipos de laminación, sistemas de refrigeración, etc., mantener un perfil del factor de potencia usualmente implica la utilización de bancos de capacitores automáticos, diseñados para conectar y desconectar parte de su capacidad, de acuerdo con los requerimientos de la carga.

La operación automática se realiza a través de equipos de control, sensibles a magnitudes como el voltaje de la línea, corriente, potencia reactiva demandada, etc., y para la conexión de los capacitores se emplean equipos electromecánicos, como los contactores magnéticos, y más recientemente dispositivos electrónicos de estado sólido.

### 6.9 Recargo en las facturaciones por bajo factor de potencia

Cuando en una instalación eléctrica se determina un factor de potencia menor de 0.90 que es el valor mínimo permitido por las disposiciones legales en vigor, a la facturación por consumo de energía eléctrica, se le agrega un recargo, en consecuencia la facturación total es por una cantidad mayor.

El cobro total incluyendo el recargo por bajo factor de potencia es el que resulta del desarrollo de la siguiente fórmula:

$$3/5 (1-(f.p./0.9)) \times 100 = \% \text{ sobrefacturación}$$

Con la finalidad de facilitar el cálculo de recargos y bonificaciones se presentan las siguientes tablas:

F. P. ACTUAL	% DE RECARGO	F. P. ACTUAL	% DE RECARGO
89	0.67	74	12.97
88	1.36	73	13.97
87	2.07	72	15.00
86	2.79	71	16.06
85	3.53	70	17.14
84	4.29	69	18.26
83	5.06	68	19.41
82	5.85	67	20.60
81	6.67	66	21.82
80	7.50	65	23.08

ESTA TESIS NO FUE  
 BILIBLADA

79	8.35	64	24.38
78	9.23	63	25.71
77	10.13	62	27.10
76	11.05	61	28.52
75	12.00	60	30.00

F.P. ACTUAL	% DE BONIFICACION	F.P. ACTUAL	% DE BONIFICACION
91	0.27	96	1.56
92	0.54	97	1.80
93	0.81	98	2.04
94	1.06	99	2.27
95	1.32	100	2.50

## **CAPITULO VII**

### **DEPENDENCIAS, ORGANISMOS Y ASOCIACIONES QUE ACTUALMENTE INTERVIENEN EN PROGRAMAS DE AHORRO DE ENERGÍA.**

Para solventar de manera parcial el problema del ahorro de energía eléctrica, el Gobierno Federal, establece planes, fideicomisos, programas y comisiones que en coordinación con dependencias educativas, asociaciones de profesionistas, de industriales y diversas cámaras, se han dado a la labor de implementar programas de investigación, desarrollar planes y programas, desarrollar y adaptar tecnología de punta que debidamente orientada al uso racional de la energía, permita a México competir a través de la eficientización de sus energéticos en los mercados mundiales.

Tomando en cuenta que los países en vías de desarrollo exportadores de petróleo, y en particular México, no solamente no han entrado de lleno al uso eficiente de la energía, sino que también guardan una tendencia de incremento de la relación de energía/producto producido, de manera contraria a la observada en casi todo el mundo. El Gobierno Federal Mexicano, ha dado un gran apoyo a la implantación de programas de uso racional de energía, pues debido a la importancia de estos programas para la competitividad comercial; para evitar las grandes inversiones en plantas productoras de energía y para optimizar el uso de los recursos no renovables, hacen que exista la seguridad de que este rubro no sufrirá los efectos negativos de los planes sexenales, muestra de ello son las múltiples dependencias, organismos y asociaciones que se mencionan a continuación:

Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE)

Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE).

Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE).

Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE).

Programa Universitario de Energía (PUE).

## **CAPITULO VIII**

### **CONCLUSIONES**

Son varias las razones por las cuales la implementación de un programa de ahorro de energía se ha convertido en una prioridad a nivel nacional, entre estas podemos destacar las siguientes:

México ha dejado de ser ese gran manantial de petróleo, pero no es un caso aislado, muchos de los países en vías de desarrollo, en los que su principal fuente de divisas era la venta de hidrocarburos se están enfrentando a esta misma problemática. Esto afecta directamente al Sistema Eléctrico Nacional, el cual, como se vio en el Capítulo 1, se basa principalmente en Centrales Termoeléctricas, que sin combustibles fósiles dejarían de abastecernos de electricidad, lo cual provocaría una crisis de graves consecuencias.

La industria en nuestro país guarda una tendencia de incremento de la relación de energía/producto producido, de manera contraria a la observada en casi todo el mundo, esto trae como consecuencia una baja productividad, provocada por un ineficiente uso de la energía.

Debido a las expectativas de industrialización, la necesidad de crear empleos y el compromiso de proporcionar servicios públicos, se hace necesario una mayor disponibilidad de energía, lo cual se encuentra fuera de alcance de la economía del país.

Todo esto solo se puede solucionar forzando a las compañías suministradoras a que efficienten sus sistemas de producción y distribución, que se desarrollen y apliquen nuevas tecnologías y que los usuarios finales de todos los sectores, adquieran una cultura sobre el uso eficiente de la energía eléctrica y empleen equipo eléctrico de alta eficiencia.

Las ventajas de implementar un programa de ahorro de energía son las siguientes:

- Ahorro en la facturación
- Aumento en la productividad
- Mayor competitividad
- Mejorar la eficiencia del proceso
- Inversión del ahorro en equipo y nueva tecnología.

Proporcionando también beneficios al Sistema Eléctrico, ya que el KWh más económico es el KWh ahorrado, esto significa que para cubrir las necesidades energéticas, resulta más económico administrar de manera eficiente la energía con la que se cuenta, que crear la infraestructura para generarla.

El hecho de poner en marcha un programa de ahorro de energía, nos enfrenta con algunos problemas que es necesario enumerar, y a la vez buscar soluciones y métodos para sobreponerlos:

1. Concientización
2. Formación de recursos humanos especializados
3. Recursos económicos
4. Planeación Estratégica
5. Corrupción
6. Indiferencia
7. Resistencia al cambio
8. Desconfianza

## **APENDICE I**

### **CODIGOS Y REGLAMENTOS**

En las instalaciones eléctricas de años atrás, cuando las canalizaciones no tenían la calidad y acabado para cumplir eficientemente su cometido, los conductores eléctricos no tenían el aislamiento adecuado para las condiciones de trabajo y ambiente; los dispositivos y accesorios de control y protección no eran compatibles, aparte de tener un burdo acabado, daban como resultado lógico, instalaciones eléctricas de poca calidad, vida corta y fallas frecuentes, provocando así pérdidas materiales generalmente por corto circuitos o en el peor de los casos por explosiones, al instalar materiales y equipos no adecuados para los diferentes medios y ambientes de trabajo, tales como: locales con ambiente húmedo, locales con ambiente seco, locales con polvos o gases explosivos, locales donde se trabajan materias corrosivas o inflamables, etc.

Todo lo anterior hizo ver la necesidad de reglamentar desde la fabricación de materiales, equipos, protecciones, controles, etc., hasta donde y como emplearlos en cada caso.

Para la elaboración de dicho reglamento, fue necesario contar con las observaciones y experiencias realizadas por todos los sectores ligados al ramo tales como: Ingenieros, Técnicos, Fabricantes y Distribuidores de equipo y materiales eléctricos, Contratistas, Instaladores, etc.

Lo antes expuesto dio como resultado la elaboración del CODIGO NACIONAL ELÉCTRICO (NEC) y el establecimiento de los Underwriter's Laboratories, Inc (UL) en EE.UU. Conforme paso el tiempo se desarrollaron reglamentaciones locales para la construcción con el fin de cubrir las instalaciones eléctricas. Los códigos eléctricos locales por lo general se basan en el NEC.

#### **EL CODIGO NACIONAL ELÉCTRICO (NEC)**

En 1881, una organización conocida como la National Association of Fire Engineers, reconoció la necesidad de contar con reglas y guías uniformes y de observancia en todo EE.UU. para las instalaciones eléctricas. Su primer Congreso, condujo a una proposición que cubría las reglas básicas del aislamiento y la conexión a tierra como protección.

Las experiencias pasadas pusieron en claro que debía contarse con el consejo de expertos para quienes realicen instalaciones eléctricas. En 1895, el National Board of Fire Underwriter's publicó las propuestas obtenidas como conclusiones del congreso de Ingenieros en incendios. Esta fue la primera aparición de un reglamento eléctrico nacionalmente recomendado.

En los años subsecuentes a la aparición del código, éste ha crecido y cambiado a medida que se ha incrementado el conocimiento técnico y usos de la electricidad. En la actualidad se le conoce como National Electric Code (NEC) y lo imprime y distribuye la National Fire Protection Association (NFPA). Es aceptado universalmente como base para una instalación eléctrica segura. La NFPA ha

establecido un procedimiento para las revisiones periódicas del NEC. Ultimamente el NEC ha sido respaldado por el American National Standards Institute (ANSI).

Según lo publica la NFPA y lo respalda la ANSI, el NEC es un documento de carácter consultivo. El NEC se ofrece para que lo usen los reguladores y las oficinas reguladoras como base para establecer las normas eléctricas y reglamentos de instalaciones eléctricas regionales. El NEC se convierte en la "ley para el electricista" solo cuando forma parte de los reglamentos regionales de instalaciones eléctricas. Casi todos los reglamentos regionales se basan en el NEC.

De esta manera, el NEC se hace de observancia legal. Los reglamentos regionales generalmente contienen requisitos y restricciones adicionales que también deben seguirse.

El NEC se refiere únicamente a las practicas relativas a la instalación eléctrica que ofrecen la máxima protección contra las lesiones personales y la muerte, así como las pérdidas en las propiedades, debidas al choque eléctrico o al fuego. Las reglamentaciones regionales a menudo también se refieren a las normas de mantenimiento de las viviendas, especificación de la altura y ubicación de las líneas aéreas, el suministro adecuado del servicio eléctrico y otras consideraciones semejantes.

Los reglamentos eléctricos regionales por lo general se incluyen como parte de una reglamentación completa relativa a la construcción de edificios en la zona. La reglamentación regional puede ser una página o dos o muchas páginas que contienen muchos detalles. Es esencial que todo electricista en ejercicio se familiarice con los reglamentos eléctricos regionales, así como con el NEC.

La aceptación y correcta aplicación del reglamento en todos los casos, asegura salvaguardar los intereses de todos, pues se esta evitando al máximo los riesgos que representa el uso de la electricidad bajo todas sus manifestaciones.

## REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE MEXICO

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMP-1994, RELATIVA A INSTALACIONES DESTINADAS AL SUMINISTRO Y USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

La aplicación, interpretación y vigilancia de este reglamento, es de la competencia de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal a través del COMITÉ CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS (CCNNIE), quien además de hacer cumplir todo lo relacionado al mismo, esta en absoluta libertad de agregar recomendaciones tales como: dimensiones de planos, escalas, símbolos a emplear, notas aclaratorias, etc.

## CARÁCTER DEL REGLAMENTO

El carácter y la aplicación del mismo son solo para la República Mexicana y para los materiales, accesorios y equipos a instalar en el interior o exterior de edificios públicos, privados, predios urbanos o rústicos. Contiene requisitos mínimos de observancia obligatoria y recomendaciones de conveniencia practica,

los que tienen por objeto prevenir riesgos y construcciones u operaciones defectuosas.

En el desarrollo de todos los capítulos de este reglamento se ha contado con la colaboración de personal técnico especializado en cada uno de los temas que se tocan en el mismo. Dicho personal continuara colaborando en los grupos de trabajo que conforman el COMITÉ CONSULTIVO NACIONAL DE NORMALIZACION PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS (CCNNIE) para que se dé vigencia tecnológica a este reglamento.

#### **AVANCES EN LA NORMALIZACION PARA EL AHORRO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA**

De acuerdo con la Nueva Ley Federal sobre metrología y Normalización, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de julio de 1992, se inicio la instauración de los Comités Consultivos Nacionales de Normalización por parte de las diferentes dependencias del Ejecutivo Federal, para el desarrollo de las Normas Oficiales Mexicanas -NOM- de carácter obligatorio y cobertura nacional. De esta manera, la elaboración de Normas Oficiales ha tenido avances significativos.

La finalidad de estas Normas es reducir o minimizar, por un lado, el consumo de energía y el costo de los insumos de los sectores productivos y, por el otro, el gasto en la explotación y utilización de recursos naturales renovables y no renovables. Asimismo, es de suma importancia aminorar el nivel de emisión de contaminantes que se derivan de la generación de energía eléctrica.

Todo esto reporta indudables ventajas y beneficios tanto para los usuarios, en los ahorros obtenidos en el pago de las facturas de consumo, como para los fabricantes de los aparatos, en aspectos de competitividad y participación en los mercados extranjeros, así como para las compañías suministradoras de energía eléctrica, con la disminución del crecimiento de la demanda que permite posponer o reprogramar inversiones en instalaciones de generación, liberando capacidad de generación eléctrica en base a ahorros de energía. Desde luego también redundan en un provecho para México, puesto que simultáneamente se arraiga una cultura de ahorro energético en el país.

A través de la implantación de las Normas se trata también de evitar que productos procedentes de otros países, con menor calidad y eficiencia que los mexicanos, crucen nuestras fronteras propiciando una competencia desleal y consumos excesivos de energía eléctrica.

En este contexto, vale la pena aclarar que ciertas Normas que se elaboran actualmente no se traducirán de manera inmediata en ahorros de energía, sino únicamente en valores de una eficiencia tal, que permitan a los fabricantes nacionales competir con mayores ventajas con los productos de importación de menor eficiencia.

## LA NORMALIZACION UNA DE LAS FORMAS MAS ECONÓMICAS DE AHORRAR ENERGÍA ELÉCTRICA.

Por todos los avances y logros que se han alcanzado hasta la fecha, varios organismos mantienen vivo el interés en continuar con la participación activa de sus especialistas en la normalización para el ahorro de energía eléctrica.

Aún más, estas instituciones están conscientes de que toda la experiencia que han adquirido durante la realización de investigaciones, estudios, diagnósticos y proyectos demostrativos dirigidos a la industria, comercios y servicios, Municipios y usuarios domésticos, cristalizara en las Normas Oficiales Mexicanas que se relacionan con el uso eficiente de la energía eléctrica.

## APENDICE II

### TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las tarifas de energía eléctrica son las disposiciones específicas que contienen las cuotas y condiciones que rigen para los suministros de energía eléctrica, agrupados en cada clase de servicio.

La Secretaría de Hacienda y Crédito Público, con la participación de las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal y de Comercio y Fomento Industrial y a propuesta de la Comisión Federal de Electricidad, fija las tarifas, su ajuste o reestructuración, de manera que tienda a cubrir las necesidades financieras y de ampliación del servicio público y el racional consumo de energía.

Las tarifas se identifican oficialmente por su número y/o letra(s). Para la contratación y demás propósitos internos, las tarifas se denominan invariablemente de acuerdo con su identificación, solamente en los casos en que sea preciso completar la denominación, delante de su clasificación se escribirá el título de la respectiva tarifa, tal como a continuación se detalla.

Identificación	Título
1	Servicio doméstico
1-A	Servicio doméstico para localidades con temp. media mín. En verano de 25°
1-B	Servicio doméstico para localidades con temp. media mín. En verano de 28°
1-C	Servicio doméstico para localidades con temp. media mín. En verano de 30°
1-D	Servicio doméstico para localidades con temp. media mín. En verano de 31°
1-E	Servicio doméstico para localidades con temp. media mín. En verano de 32°
2	Servicio general en baja tensión de hasta 25 kW de demanda
3	Servicio general en baja tensión para mas de 25 kW de demanda
5	Servicio para alumbrado público (aplicable en zonas conurbanas del D.F., Monterrey y Guadalajara)
5-A	Servicio para alumbrado público (aplicable en todo el país excepto en las zonas descritas en la tarifa anterior)
6	Servicio para bombeo de agua potable o negras de servicio público.
7	Servicio temporal.
9	Servicio para bombeo de agua para riego agrícola.
OM	Tarifa Ordinaria para servicio general en media tensión con demanda menor a 1000 kW.
HM	Tarifa Horaria para servicio general en media tensión con demanda de 1000 kW o más.
HS	Tarifa Horaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión.
HT	Tarifa Horaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión.
HSL	Tarifa Horaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión para larga utilización.
HTL	Tarifa Horaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión para larga utilización.
HSR	Tarifa Horaria para servicio de respaldo para falla y mantenimiento en alta tensión, nivel subtransmisión.
HSRF	Tarifa Horaria para servicio de respaldo para falla en alta tensión, nivel subtransmisión.

HSRM	Tarifa Horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en alta tensión, nivel subtransmisión.
HTR	Tarifa Horaria para servicio de respaldo para falla y mantenimiento en alta tensión, nivel transmisión.
HTRF	Tarifa Horaria para servicio de respaldo para falla en alta tensión, nivel transmisión.
HTRM	Tarifa Horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en alta tensión.
115	Tarifa de servicio ininterrumpible aplicable a usuarios de tarifas HS, HT, HSL y HTL
130	Tarifa de servicio ininterrumpible aplicable a usuarios de tarifas HS, HT, HSL y HTL

**Carga total conectada.**

Es la suma de todas las cargas parciales de una instalación eléctrica

**Demanda contratada.**

La demanda contratada es exactamente lo que en los planos de instalaciones eléctricas se manifiesta como demanda máxima aproximada. La demanda contratada puede interpretarse como aquella que el suministrador de energía eléctrica y el usuario convienen inicialmente en el contrato respectivo. En las tarifas generales de la Comisión Federal de Electricidad y de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro, S.A., se define de la forma siguiente:

La demanda contratada la fijara el consumidor al contratar el servicio, pero nunca será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de la capacidad del mayor motor o aparato instalado por el consumidor.

**Demanda máxima medida.**

La demanda máxima medida, se determina mensualmente por medio de aparatos que indican la carga media en Kilowatts, durante un intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro período de 15 minutos medido en ese mismo mes.

**Factor de demanda.**

Es la relación entre la demanda máxima medida y la carga total conectada.

**Demanda base de facturación.**

La demanda base de facturación en condiciones normales consistirá de los Kilowatts, ya sea de la demanda contratada en vigor o de la demanda máxima medida en el mes, cualquiera que sea mayor.

**Factor de carga.**

Es la relación entre la demanda media y la demanda máxima medida.

$$F.C. = \frac{\text{DEMANDA MEDIA}}{\text{DEMANDA MAX. MEDIDA}}$$

Ahora bien, en vista de que las instalaciones eléctricas en las que interviene la demanda base de facturación, los pagos por consumo de energía eléctrica son cada mes, se ha generalizado calcular el factor de carga mensualmente, en consecuencia se tiene:

$$F.C. = \frac{\text{Consumo en el mes / horas que tiene el mes}}{\text{Demanda máxima medida}}$$

$$F.C. = \frac{\text{Kwh} / \text{h}}{\text{Kw}} = \frac{\text{Kw}}{\text{Kw}} = \%$$

Las empresas que operan con un alto factor de carga, se benefician al disminuir con ello el precio medio de la energía que deben pagar. Por el contrario, un bajo factor de carga incrementa ese valor medio de la energía por pagar.

## **BIBLIOGRAFIA**

**DE GALIANA MINGOT, TOMAS  
PEQUEÑO LAROUSSE TECNICO  
MEXICO 1980  
EDICIONES LAROUSSE**

**CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGIA  
DICCIONARIO DE LA ENERGIA  
FRANCIA 1992  
JOUVE SISTEMAS DE INFORMACION**

**ENRIQUEZ HARPER  
LINEAS DE TRANSPORTE Y REDES DE DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA  
ELÉCTRICA  
MEXICO 1980  
LIMUSA**

**GUTIERREZ MOYADO, JUSTO  
APLICACIÓN ENERGÉTICA DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS  
MEXICO 1994  
IPN**

**BECERRIL L. DIEGO O.  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS PRACTICAS  
MEXICO 1984  
IPN**

**FIDE  
PUBLICACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGIA  
MEXICO**

**AMBRIZ GARCIA J.J., GONZALEZ DORBECKER E., ROMERO PAREDES H.  
FUNDAMENTOS DEL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA  
MEXICO 1989  
UNAM**

**SECRETARIA DE ENERGÍA  
BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 1995  
MEXICO 1996  
SECRETARIA DE ENERGÍA**