UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería

División de Ingeniería Eléctrica

Propuesta titulación trabajo profesional

“Ahorro de energía eléctrica en edificios”

Para obtener el título de:

Ingeniero Eléctrico – Electrónico

P r e s e n t a :

Sergio Cocoletzi Vázquez

Ingeniero aval: Alejandro Sosa Fuentes

Octubre de 2007

Ciudad Universitaria, D.F.

Presentación

El presente informe resume las actividades profesionales que vengo desempeñando como pasante de Ingeniero en la **Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae),** Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Energía, el cual someto a evaluación del *H. Comité de Titulación* para obtener el título de ***Ingeniero Eléctrico – Electrónico.***

México, D.F., a 2 de octubre de 2007

ÍNDICE

Página

I. Resumen ejecutivo 1

II. Propuesta titulación trabajo profesional 2

1. Título 3
2. Objetivo 3
3. Antecedentes 3
4. Definición del problema 6
5. Análisis y metodología empleada 7
6. Participación profesional 9
7. Resultados y aportaciones 10

III. *Guía para la detección de áreas de oportunidad en edificios no residenciales* 13

1. Introducción

2. Iluminación de edificios no residenciales *18*

2.1 El concepto de iluminación eficiente

2.2 Eficiencia y condiciones de servicio

2.3 Evaluación de la eficiencia energética

2.4 Diagnóstico energético en el sistema de iluminación

2.5 Aspectos de la metodología de análisis

2.6 Problemas detectados frecuentemente

2.7 Evaluación de sistemas de iluminación

3. Factor de potencia *36*

3.1 Conceptos básicos

3.2 El bajo factor de potencia

3.3 Consecuencias al presentarse un bajo factor de potencia
3.4 Métodos de compensación
3.5 Compensación mediante bancos de capacitores
3.6 Evaluación técnica del factor de potencia
3.7 Aspectos de la metodología de análisis
3.8 Consideraciones y recomendaciones generales

4. Control de la demanda *62*

4.1 Tarifas eléctricas
4.2 Conceptos básicos de la facturación para tarifas eléctricas
4.3 Conceptos básicos del control de la demanda
4.4 Estrategias y métodos de control
4.5 Estudio del control de la demanda
4.6 Aspectos de la metodología de análisis

5. Análisis tarifario *80*

5.1 Evaluación de cambio de tarifa eléctrica

Anexos *87*

IV. *Conclusiones* *106*

V. *Bibliografía* *108*

I. Resumen ejecutivo

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que goza de autonomía técnica y operativa, tiene como objetivo diseñar, promover y fomentar lineamientos y acciones en materia de ahorro y uso eficiente de la energía y aprovechamiento de las energías renovables en el país, brindar asistencia técnica en la materia a los sectores público, privado y social; así como concertar la implantación de las normas de eficiencia energética. Actualmente Conae es considerada como una autoridad en la materia, ya que funge como un órgano técnico de consulta, al diseñar, instrumentar y operar programas de alcance nacional, atiende al universo de usuarios al mismo tiempo que trabaja en temas que requieren atención especial

El presente trabajo resume las actividades profesionales que vengo desempeñando como pasante de Ingeniero en la Comisión, a la cual tuve la oportunidad de incorporarme a laborar desde octubre de 2005, donde ingresé a través del Sistema denominado *"Servicio Profesional de Carrera de la Administración Pública Federal"*

Actualmente laboro como personal técnico adscrito a la Dirección de Demanda Eléctrica, área encargada de coordinar a nivel nacional, el Programa Nacional de Ahorro de Energía en Inmuebles de la Administración Pública Federal, en donde mis principales actividades son la elaboración de estudios para el Ahorro de Energía eléctrica en edificios, así como proporcionar asistencia técnica y otorgar capacitación.

Como parte de la asistencia técnica, se realizan visitas técnicas en las que mediante un recorrido a las instalaciones se evalúan las áreas de oportunidad, emitiéndose recomendaciones mediante un dictamen técnico.

En cuanto a capacitación se imparten cursos, talleres y pláticas, cuyo objetivo es promover la importancia y los beneficios del ahorro y uso eficiente de la energía y en donde mi principal satisfacción ha sido despertar el interés en éstos temas al mismo tiempo que se promueve una cultura de ahorro y concientización.

El informe de actividades está estructurado a manera de *Guía,* donde se exponen las principales áreas de oportunidad para el ahorro de energía en instalaciones de edificios no residenciales, de forma que pueda aportar información útil a los compañeros de la carrera de una manera práctica, en cuanto a la aplicación e importancia de los conceptos básicos, así como a los interesados en aplicar programas de administración de energía, adicionalmente se incluyen particularidades de los estudios y diagnósticos energéticos, parte de la metodología de análisis, resultados y experiencias útiles.

II. Propuesta titulación trabajo profesional

1. Título

"Ahorro de energía eléctrica en edificios no residenciales"

2. Objetivo

Elaborar un documento que proporcione información técnica para la detección de áreas de oportunidad para el ahorro de la energía eléctrica en edificios no residenciales, con el fin de evaluar el entorno de operación y así la posibilidad de aplicar programas de ahorro en este tipo de instalaciones.

Con esta información se pretende que el usuario conozca las áreas de oportunidad para el ahorro de energía eléctrica a partir de estudios y diagnósticos energéticos, al aplicar medidas que permitan incrementar la eficiencia energética en sus instalaciones, mediante la implantación de buenas prácticas e innovación tecnológica.

3. Antecedentes

El ahorro de energía eléctrica es un elemento fundamental de las políticas públicas para el cuidado de los recursos energéticos no renovables, diversificación energética, protección del medio ambiente, aumento de la productividad y competitividad de la economía, y para la economía de los usuarios.

El esfuerzo realizado en México para lograr un uso más eficiente de la energía, se caracteriza por el desarrollo institucional y programático sostenido de diversas instituciones como la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae), el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (Fide), el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (CFE-Paese) y el Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI), entre otras, que han sido las responsables de diseñar y aplicar programas que ya han mostrado efectos significativos, palpables y duraderos en los diversos sectores de nuestra sociedad y del territorio nacional.

Entre las acciones más importantes que se han presentado en el contexto del ahorro de energía eléctrica en el mundo está la llamada Administración del lado de la Demanda (DSM por sus siglas en inglés). Fundamentada en la lógica económica de que para las empresas eléctricas puede ser más rentable invertir en modificar los consumos de los usuarios que en construir nuevas plantas de generación. La DSM es una actividad ampliamente desarrollada en los Estados Unidos de Norteamérica, país en donde fue concebida hace ya más de 20 años.

Poniendo la experiencia mexicana a la luz de la experiencia de Estados Unidos, en cuanto ahorro de energía se refiere, puede decirse que en México se han recorrido algunos caminos que llevan a programas DSM, pero aún existen algunas lagunas importantes que limitan su establecimiento en escala suficiente como para poder ser considerado como un recurso alternativo a opciones del lado de la oferta.

México, a pesar de su retraso respecto a otros países más desarrollados en cuanto desarrollo de la actividad de ahorro de energía eléctrica es actualmente líder a nivel de América Latina en este tipo de actividades.

Por ejemplo, en nuestro país existen normas de eficiencia energética aplicables a equipos y sistemas. En el caso de equipos se tienen en el campo de aplicación a, equipos de bombeo, calentadores de agua, lavadores de ropa, equipos de aire acondicionado, motores eléctricos, equipos de refrigeración y congeladores electrodomésticos, lámparas fluorescentes compactas y aislamientos térmicos, las que se han elaborado a partir del análisis de lo que representan en el consumo de energía para el usuario final.

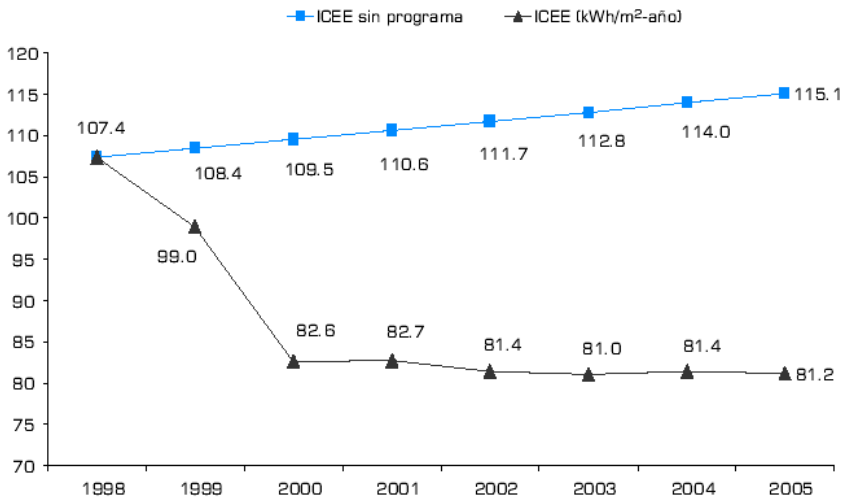
Para sistemas se tienen normas aplicables al alumbrado en edificios no residenciales, en vialidades y áreas exteriores públicas, así como para la envolvente en edificios.

Al mismo tiempo se ha trabajado en la creación de un marco de normativo para el ahorro de energía, particularmente en cuanto a la eficiencia energética en edificios, instalaciones y flotas vehiculares.

Uno de los programas de alcance nacional y con importantes resultados es el Programa de Ahorro de Energía en Inmuebles de la Administración Pública Federal (APF), que tiene como objetivo reducir los consumos de energía así como promover el uso eficiente de la energía en los edificios de las dependencias y entidades del Gobierno Federal, mediante la implantación de buenas prácticas e innovación tecnológica, así como la utilización de herramientas de operación, control y seguimiento.

Durante 2003, se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el Acuerdo que establece las Disposiciones Generales para el Programa de Ahorro de Energía en la Administración Pública Federal, donde se establece la aplicación del Programa a todas las dependencias y entidades de la APF.

Para 2005, se calculó un índice global de consumo de energía en inmuebles de uso de oficina, de 81.0 kWh/m^2-año, equivalente a 29.5% menos de lo que se tendría en caso de no haberse aplicado el programa, y que representa 202 millones de kWh ahorrados durante 2005.



Gráfica 1. Reducción del índice de consumo de energía eléctrica (ICEE)
en las oficinas públicas de la APF con y sin programa, 1998–2005 (kWh/m2-año)
Fuente: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía 2006

Se estima que en 2015 los ahorros anuales en consumo de energía eléctrica serán del orden de 319 GWh.

En la medida que los países se urbanizan, la energía que se utiliza en los inmuebles tiende a crecer cada vez más y más, así como el número de ellos; y aunque por el momento no es posible determinar cuantitativamente su evolución en el consumo nacional de electricidad, por estar distribuidos en dos grandes sectores: comercial e industria mediana; las tendencias demuestran un vigoroso crecimiento en los últimos años, donde los inmuebles públicos representan un papel relevante.

En este sentido, el mejorar la eficiencia energética en los inmuebles, además de proporcionar un beneficio al usuario, ofrece también beneficios a las compañías suministradoras de energía y a la sociedad.

Una herramienta eficaz para determinar la situación energética en una instalación es la elaboración de estudios y diagnósticos, lo cual permite establecer la eficiencia energética actual de los equipos y sistemas que se operan, con el objetivo de detectar áreas de oportunidad, así como potenciales de ahorro de energía y económicos al implementar medidas tecnológicas y operativas.

4. Definición del problema

El haber considerado por muchos años a la energía como un recurso ilimitado y de bajo costo, llevó a desarrollar infraestructuras completas de uso final de la energía con altos índices de consumo por unidad de producto o servicio entregado. Esta situación, junto con la evolución creciente de los precios de la energía y las transformaciones tecnológicas en cuanto a materiales, equipos y sistemas, han permitido que el potencial de ahorro y uso eficiente se haya ampliado de manera en que hoy pueda aprovecharse en una escala que compite con la creación de nueva infraestructura de producción de energía.

Este es el caso de las instalaciones eléctricas en los edificios no residenciales, en donde el potencial de ahorro incluso al realizar únicamente medidas operativas representa una importante oportunidad de obtener beneficios económicos y energéticos significativos. Los problemas observados principalmente consisten en el uso de equipos ineficientes, malas prácticas por parte de los usuarios, y/o uso inapropiado de las tecnologías debido a situaciones muy diversas, como pueden ser instalaciones mal diseñadas, otras que van siendo modificadas de acuerdo a las necesidades de los usuarios, falta de programas de mantenimiento, desconocimiento por parte de los administradores de lo que representa la energía en sus insumos, escasa o nula difusión del ahorro de energía a todos los niveles, desaliento por políticas mal aplicadas en la adquisición de equipos, sistemas o servicios relacionados con la eficiencia energética que sólo repercute en un poco evidencias de beneficios económicos, etc.

De la definición de eficiencia energética, la cual plantea que ésta se puede alcanzar al optimizar dos elementos, que son la potencia eléctrica de los equipos y/o sistemas, esto es buscar las alternativas tecnológicas que proporcionen el mismo servicio que los equipos convencionales y el que hace referencia a la eficiencia en el uso, a partir de la variable tiempo y al uso óptimo de los elementos de la instalación. A partir de la evaluación de éstos dos factores se analizan las áreas de oportunidad en los edificios no residenciales.

Los estudios y la aplicación de proyectos en el ramo han demostrado que el ahorro de energía tiene como numerosas ventajas que se puede ver como un negocio rentable, tanto como para el usuario del servicio eléctrico, la parte de la consultoría, así como para fabricantes y distribuidores, pues impulsa a que se tengan mejores productos en el mercado. En el caso de inmuebles de la Administración Pública los proyectos se vuelven más atractivos ya que por una disposición oficial el servicio de energía eléctrica cuesta 2.5 veces más que a un usuario convencional.

5. Análisis y metodología empleada

5.1 Estudios y diagnósticos energéticos

El alcanzar la eficiencia en el consumo de energía eléctrica no puede llevarse a cabo si no se conoce dónde y cómo se le está utilizando. En la mayoría de los casos el establecimiento de este punto de partida requiere de una inspección y de un análisis energético detallado de los consumos y pérdida de energía, al que generalmente se le conoce como Diagnóstico Energético.

El Diagnóstico Energético comprende la evaluación de la eficiencia energética por áreas y equipos intensivos en su uso. La aplicación de este tipo de diagnósticos requiere de un análisis detallado de 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 hacer evidentes las variaciones de eficiencia. La disposición de los índices energéticos actuales comparados con los de diseño o valores de referencia, permite determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía. Finalmente, debe evaluar desde el punto de vista económico, las medidas que se recomiendan llevar a cabo, tomando en consideración que la inversión para la aplicación de medidas se debe pagar con los ahorros esperados.

El objetivo de los estudios y diagnósticos que se elaboran en la Conae, es estimar los beneficios al implementar medidas de ahorro en instalaciones de edificios no residenciales. Mediante información remitida por el usuario a través del llenado de formatos, se recopila toda la información requerida para proponer medidas de ahorro y uso eficiente de la energía (económicamente rentables y medidas operativas). Después de la revisión y validación de la información se genera un reporte final para el usuario, con los datos proporcionados y los resultados obtenidos del análisis, el estudio tiene como propósito:

1. Identificar el consumo de energía eléctrica dentro de la instalación
2. Establecer el grado de eficiencia en el uso de la energía eléctrica en términos de índices energéticos
3. Proponer las medidas de ahorro de energía y determinar los beneficios energéticos, económicos y ambientales, así como la inversión requerida para su aplicación

Dentro de las oportunidades de ahorro de energía más importantes en instalaciones de edificios no residenciales, se tienen las siguientes:

- Sistema de iluminación
- Administración o control de la demanda
- Compensación del factor de potencia

- Tarifa eléctrica
- Aire acondicionado
- Programa para la administración de la energía

La realización del estudio o diagnóstico energético en gabinete o campo para cada área, comprende una serie de objetivos, actividades y aspectos a diagnosticar, los cuales a continuación se enlistan de manera general y que se detallan para los cuatro primeros casos en el punto III del presente trabajo *"Guía para la detección de áreas de oportunidad en edificios no residenciales":*

- **Objetivos**

- Evaluar técnica y económicamente las medidas de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.
- Disminuir el consumo de energía, sin menoscabo del confort de los usuarios y sin afectar los niveles de productividad.

- **Actividades**

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

- Revisar y registrar las condiciones de operación de equipos, instalaciones y sistemas y/o procesos así como tecnologías empleadas.
- Calcular los índices energéticos o de productividad, energéticos reales, y compararlos con los de diseño y con valores de referencia.

- Determinar los potenciales de ahorro.
- Promover, implementar y dar seguimiento a un Programa de Ahorro de Energía mediante la aplicación de diversas técnicas que permitan alcanzar la eficiencia energética, a través de recursos humanos, técnicos y económicos.

- **Aspectos a diagnosticar**

a) Operativo

- Censo de equipos consumidores de energía.
- Detección y evaluación de malas prácticas.
- Análisis del tipo y frecuencia del mantenimiento.
- Posibilidades de sustitución de equipos por tecnologías eficientes.

b) Económico

- Precios actuales de la energía, costo energético e impacto en costos totales.
- Estimación económica del uso ineficiente.
- Consumos específicos de energía por equipos y/o sistemas.

- Evaluación económica de medidas de ahorro.
- Relación beneficio-costo de medidas de ahorro.
- Precio de la energía eléctrica consumida en $/kWh (precio medio)

c) Energéticos

- Beneficio energético y ambiental producto de las medidas.
- Índices energéticos proyectados al implementar las mejoras.
- Factibilidad de autogeneración y cogeneración.

5.2 Visitas a instalaciones

Las visitas consisten en una inspección visual del estado de conservación de las instalaciones eléctricas, se analiza con el personal responsable aspectos tales como principales cargas eléctricas, operación de equipos y sistemas, mantenimiento que se lleva a cabo, así como el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica.

Uno de los objetivos que se busca en una visita técnica es detectar medidas de ahorro cuya aplicación puede ser inmediata y con inversiones marginales, la evaluación técnica que se realiza al respecto se enfoca a considerar los detalles detectados visualmente y los cuales se consideren como uso ineficiente de energía. A partir de esta se propone la aplicación de un estudio o diagnóstico energético a detalle para alguna área en particular así como la aplicación inmediata de un programa integral de ahorro de energía.

6. Participación Profesional

El presente trabajo resume las actividades profesionales que vengo desempeñando como pasante de Ingeniero en la **Comisión Nacional para el Ahorro de Energía**, a la cual tuve la oportunidad de incorporarme a laborar desde octubre de 2005, donde ingresé a través del Sistema denominado "*Servicio Profesional de Carrera de la Administración Pública Federal".*

Actualmente laboro como personal técnico adscrito a la Dirección de Demanda Eléctrica, área encargada de coordinar a nivel nacional, el Programa Nacional de Ahorro de Energía en Inmuebles de la Administración Pública Federal, en donde mis principales actividades son la elaboración de estudios para el Ahorro de Energía eléctrica en edificios, así como proporcionar asistencia técnica y otorgar capacitación.

Como parte de la asistencia técnica, se realizan visitas técnicas en las que mediante un recorrido a las instalaciones se evalúan las áreas de oportunidad, emitiéndose recomendaciones mediante un dictamen técnico.

En cuanto a capacitación se imparten cursos, talleres, pláticas, etc., cuyo objetivo es promover la importancia y los beneficios del ahorro y uso eficiente de la energía y en donde mi principal satisfacción ha sido despertar el interés en éstos temas al mismo tiempo que se promueve una cultura de ahorro y concientización.

7. Resultados y aportaciones

A partir de las actividades realizadas se presentan los siguientes puntos que se consideran como experiencias útiles y recomendaciones:

- *Uso de formatos***.** El uso de formatos adecuados es muy útil en la realización de estudios y diagnósticos así como en las visitas a instalaciones, ya que con la información de los formatos se puede establecer con claridad la eficiencia energética actual de los equipos y/o sistemas lo que permite elaborar propuestas que reporten los mayores beneficios con los menores costos. La información contenida en los formatos permite establecer en principio la situación actual en cuanto a características de los equipos instalados, tecnologías, aplicación, características de las áreas, hábitos de uso, interacción con equipo adicional, etc. El manejo de formatos bien elaborados permite evitar la recolección de información excesiva, que cuesta tiempo y dinero a cambio de un beneficio mínimo o incluso nulo. Es recomendable que cada especialista o empresa consultora desarrolle los suyos, ya que el orden y la cantidad de datos obtenidos durante una auditoría a las instalaciones depende de la metodología seguida y del alcance prefijado para cada estudio. Cabe señalar que se trabaja en la elaboración de formatos tipo adecuados a partir de las visitas realizadas.

- *Difusión del ahorro de energía.* La experiencia en la aplicación de los programas de ahorro ha demostrado que además de un programa técnico de uso racional de la energía, si se incluye un subprograma de concientización con la participación conjunta del personal de diferentes niveles habrá siempre mejores resultados. De esta forma aquellos que contribuyan y se sientan coparticipes en la planeación e implementación de los detalles del programa seguramente se sentirán orgullosos de los resultados. Uno de los primeros objetivos que se deben buscar es el de desarrollar en los usuarios una actitud *propositiva* respecto a la importancia que tienen los energéticos en el desarrollo de las actividades tanto laborales como cotidianas, esto es generar una cultura energética en la instalación, incluso desde los beneficios en el hogar ya que esto desarrollará buenos hábitos que probablemente adoptarán en el ámbito laboral. En un subprograma de concientización se deberán contemplar principalmente cuatro tipos de actividades.

a) Cursos, conferencias, pláticas, talleres, mesas redondas, etc.
b) Difusión interna y externa
c) Incentivos y reconocimientos
d) Actividades diversas

- *Programa Interno de Ahorro de Energía (PIAE).* Los estudios y diagnósticos energéticos son una herramienta técnica utilizada en la evaluación del uso eficiente de la energía, sin embargo, no se podrían alcanzar ahorros significativos y a largo plazo sin el respaldo de un PIAE bien estructurado, aunque un diagnóstico identifique ahorros potenciales (que pueden llegar a ser entre el 10 y 30% de la energía), solamente dentro del contexto un Programa de Ahorro de Energía se asegura la infraestructura técnica, administrativa y financiera para llevar a cabo con éxito las medidas tanto de ahorro y uso eficiente de energía. Se plantea como objetivo de un PIAE el establecer metas de ahorro, la estructura del programa depende mucho del tipo de instalación en el que se vaya a implantar, Sin embargo se propone una serie de puntos que debe contener sin importar el tipo de instalación, ya que son la base para obtener los resultados esperados, estos son: planeación, organización, plan de acción, control y seguimiento.

  En la etapa de *planificación* se requiere llevar a cabo un análisis de los consumos de energía, lo cual conduce a conocer los beneficios si se implantara una administración que le permitiera abatir costos por sus consumos de energía, esta información la proporciona los **estudios y diagnósticos** de primer nivel. La *organización* contempla definir la estructura que permita instrumentar el programa establecido, esto es las funciones, jerarquías y obligaciones de los grupos e individuos que participarán en el PIAE. *El plan de acción* debe observar los siguientes aspectos: Conservación y sustitución. La conservación engloba la reducción del consumo a través de mejorar la eficiencia en el uso de equipos y/o sistemas eliminando las malas prácticas; la sustitución se enfoca a mejorar la eficiencia en la utilización de la energía mediante la utilización de equipo mas eficiente. El programa de administración de energía será más eficaz si se desarrolla como un programa continuo, monitoreando los resultados revalorando la política y el plan de acción, y al menos revisarse cada seis meses como mínimo.

- *Capacitación constante.* En lo que respecta al profesional responsable de la realización de estudios y diagnósticos energéticos, así como de la implementación del PIAE, éste debe de realizar un esfuerzo por mantenerse actualizado en cuanto a la aplicación de nuevas técnicas y tecnologías disponibles, asistiendo a cursos, conferencias, talleres y buscar certificaciones por parte de instituciones como la otorgada por la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE)

- *Elaboración de guías.* Es preciso contar con un documento que dicte políticas y lineamientos en materia de ahorro de energía cuyo objetivo es permitir un mejor aprovechamiento de oportunidades de ahorro de energía, este debe ser un instrumento documental que debe incluir criterios a partir de la normatividad técnica vigente, se debe incluir un apartado que incluya criterios de adquisición de equipos eficientes con el objeto de evitar la compra inadecuada de equipos.

- *Cumplimiento de normas.* La Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética (NOM-ENER) son regulaciones técnicas de observancia obligatoria, cuyo objeto es promover el uso racional de los recursos energéticos a través del uso de tecnologías eficientes, sin embargo y a pesar de que existen los mecanismos para vigilar su cumplimiento se ha observado que en muchas instalaciones de edificios no residenciales no se cumple con estas normas tanto en sus equipos y/o sistemas lo que evita los beneficios inmediatos por la aplicación.

III. Guía para la detección de áreas de oportunidad en edificios no residenciales

1. Introducción

Importancia del ahorro de energía eléctrica

El beneficio del ahorro y uso eficiente de la energía además de cubrir aspectos estrictamente económicos, también involucra otros beneficios de carácter nacional y social tan indispensables para el desarrollo del país y el bienestar humano, como lo son: la preservación de recursos no renovables, la calidad del medio ambiente y el costo de oportunidad sobre el uso de recursos financieros. Esta se puede definir bajo tres perspectivas: la del usuario, la de la empresa de generación y la de la sociedad y el país en su conjunto.

La perspectiva del usuario

Para el usuario, la electricidad es un insumo que representa un costo, por lo que ahorrar energía eléctrica puede representar una reducción en gastos.

De igual manera, el uso ineficiente de la electricidad puede ser síntoma de otras ineficiencias. Identificar el uso ineficiente de la electricidad en una instalación, puede permitir ubicar usos ineficientes de otros recursos (agua, materiales, mano de obra, dinero).

La perspectiva de la empresa eléctrica

Para las empresas que suministran la energía eléctrica, el ahorrar energía tiene sentido por que puede representar prestar el mismo servicio a menor costo que el de generar más electricidad.

La disponibilidad de energía eléctrica requiere de un complejo proceso para formar la cadena g*eneración-distribución*-utilización, que implica por un lado la necesidad de grandes inversiones por parte del sector eléctrico para satisfacer una demanda que crece en México, a un ritmo de aproximadamente 6.3% anual para el periodo 2001-2010 y por otro lado, representa un enorme consumo de recursos energéticos, la mayor parte de ellos no renovables.

De acuerdo a datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en 2004, el 66.8% de la capacidad instalada de generación en nuestro país se basa en hidrocarburos, fuente de energía primaria de las centrales de vapor, ciclo combinado, turbogas, combustión interna y plantas duales (ver tabla 1.1).

Histórico	Fuentes alternas					Hidrocarburos					Total
Año	Hidráulica	Geotérmica	Eólica	Nuclear	Carbón	Vapor	Ciclo combinado	Turbo-gas	Combustión interna	Dual	MW
2004	10,530	960	2	1,365	2,600	13,983	12,041	2,818	153	2,100	46,552

Tabla 1.1 Capacidad efectiva por tipo de central MW, 2004
Fuente: Prospectiva del Sector Eléctrico 2005-2014.
Secretaría de Energía

En lo que se refiere a la generación, CFE reporta en 2006, que el 58.8% de la energía eléctrica consumida se debe a la industria (gran industria y empresa mediana de acuerdo al nivel de tensión), el 25.4% al sector doméstico, 11.3% al sector comercios y servicios y 4.5% al sector agrícola (ver figura 1.1)

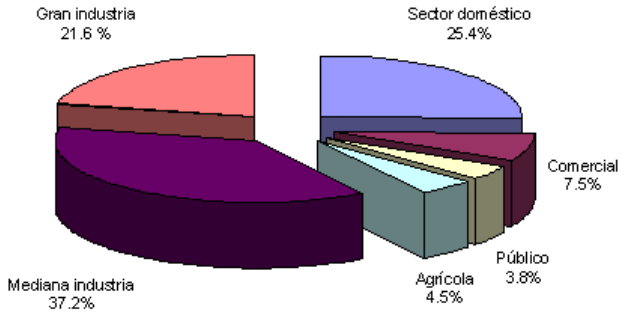


Figura 1.1 Consumo de energía por tipo de sector en 2006,
Total 175,371 GWh
Fuente: CFE Gerencia comercial 2006

En la distribución por uso final, el 60% corresponde a sistemas de fuerza, 30% a iluminación y el 10% restante a usos varios.

La perspectiva de la sociedad

Para la sociedad el ahorrar energía tiene valor en varios sentidos: de calidad del medio ambiente, de ahorro de recursos no renovables y de costo de oportunidad sobre el uso de recursos financieros escasos.

La calidad del ambiente, considera el aire, agua y suelo como bienes naturales y sociales que se deben proteger para que, de manera general, exista la vida en la Tierra y de manera particular, sea posible una vida de calidad para la humanidad. Se pueden definir tres niveles e impactos sobre calidad del ambiente por la generación de electricidad: planetario, regional y local.

- ***En el ámbito planetario:*** uno de los gases producto de la combustión es el bióxido de carbono (CO2), el cual es un gas que favorece el "efecto de invernadero". Un alto porcentaje de la producción de electricidad se realiza a partir de la combustión de combustibles fósiles. Se estima que la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado en un 25% desde 1850

- ***En el ámbito regional:*** la lluvia ácida es resultado de la combinación en la atmósfera de las emisiones de óxidos de sulfuro (producto de la combustión de combustibles que contienen sulfuro) y del agua. Esta mezcla resulta en ácido sulfúrico que afecta, entre otros, a lagos, bosques y edificios. Su impacto es regional porque la mezcla es transportada por masas de aire a largas distancias

Energía Primaria	*Efectos principales*
Petróleo	Contaminación de suelo y agua y perturbación de ecosistemas por derrames durante la exploración, explotación y transporte del petróleo Contaminación atmosférica por emisiones de SOx, NOx y partículas Efectos climáticos globales por emisión de CO_2 En ciertos ambientes geológicos, lluvia y deposición ácidas
Carbón	Degradación de ecosistemas y paisaje por minería del carbón Riesgo de contaminación de agua subterránea con metales pesados durante la extracción y el almacenamiento de carbón y en disposición final de cenizas Contaminación atmosférica por emisiones de SOx, NOx y partículas Efectos climáticos globales por emisión de CO_2 Ocupación de terreno para deposición de cenizas
Gas	Contaminación atmosférica por emisiones de NOx Efectos climáticos globales por emisión de CO_2
Hidroenergía	Inundación de terreno por el embalse Destrucción de cierta extensión de ecosistemas Desplazamiento de población Cambios en el régimen hidráulico y la carga de sedimento de los ríos
Nuclear	Contaminación y degradación de terrenos por minería de uranio Emisiones radiactivas de bajo nivel durante la operación Riesgo de accidente de muy baja probabilidad pero muy alto efecto Disposición de residuos radiactivos de muy larga vida media
Geotermia	Perturbación de ecosistemas durante la construcción Perturbación acústica del entorno durante la operación Riesgos de contaminación de suelo y agua por salmueras Emisiones moderadas de CO_2 y SH_2
Solar y eólica	Ocupación de terreno Efectos ambientales anteriores a la construcción

Tabla 1.2 Efectos ambientales y sociales de la generación de electricidad por fuente de energía
Fuente: El sector eléctrico de México, Daniel Reséndiz – Núñez, Fondo de Cultura Económica

- ***En el ámbito local:*** se tienen problemas de aire contaminado y competencia por el agua. El problema más común es el del ozono, que resulta de la mezcla de productos de la combustión en presencia de la energía solar; también se tiene el

de las partículas y el monóxido de carbono. En cuanto al agua, este es un recurso escaso que se utiliza en el enfriamiento del fluido de trabajo de plantas térmicas (no sólo con combustibles fósiles sino también en plantas nucleares).

Por otro lado, no sólo se pueden ver los efectos por la operación de las centrales eléctricas, en cuanto a la quema de combustibles fósiles, pues el construir una nueva central de cualquier tecnología, se involucran otros aspectos ambientales y de tipo sociales (tabla 1.2)

2. Iluminación de edificios no residenciales

El sistema de iluminación da cuenta de una importante proporción en la energía consumida en un edificio. Según datos de países desarrollados, la iluminación representa el 40% de toda la energía eléctrica consumida, siendo a la vez el mayor contribuyente de carga térmica en edificios no residenciales. Por otro lado, es el grupo de consumo que mayor beneficio ofrece para la introducción de equipos eficientes, debido a que aún existe un importante rezago en la introducción de este tipo de equipos en las instalaciones, sumado a una baja eficiencia en el uso.

De acuerdo al Programa de Ahorro de Energía en inmuebles de la Administración Pública Federal (APF) operado por la Conae desde 1999, la iluminación en inmuebles públicos particularmente de oficinas, representa una de las áreas de oportunidad más ricas, se estima que en promedio los ahorros potenciales de energía son superiores al 20% de la facturación total si se combinan medidas tecnológicas y operacionales.

Diversos procedimientos pueden aplicarse para revertir la ineficiencia de una instalación de alumbrado. Una auditoria energética es el procedimiento recomendable para conocer el estado real de la instalación y así evaluar los beneficios de la introducción de medidas de eficiencia energética.

Como punto de partida se debe conocer la situación energética del sistema de iluminación. Una herramienta eficaz para determinarla es la elaboración de un Diagnóstico Energético de primer nivel el cual es un estudio de prefactibilidad técnica y económica, que da a conocer los potenciales de ahorro energético y económico al introducir medidas tecnológicas, en particular la sustitución de lámparas por sus equivalentes ahorradores presentes en el mercado.

2.1 El concepto de iluminación eficiente

La luz es un componente esencial en cualquier medio ambiente ya que hace posible la visión del entorno, pero además, al interactuar con los objetos y el sistema visual de los usuarios, puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética, ambientación y afectar el rendimiento visual, estado de ánimo, productividad y motivación de las personas. El diseño de iluminación requiere comprender la naturaleza (física, fisiológica, y psicológica) de esas interacciones y además, conocer y manejar los métodos y la tecnología para producirlas, pero fundamentalmente demanda una fuerte dosis de intuición y creatividad para utilizarlas.

Visto desde una perspectiva globalizadora, el diseño de iluminación puede definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación entre el usuario y su medio ambiente. Esto implica tener en cuenta diversos aspectos

interrelacionados y la integración de técnicas, resultados, metodologías y enfoques de diversas disciplinas y áreas del conocimiento, como la física, la ingeniería de edificios, la arquitectura, la administración energética y ambiental, la psicología, la medicina, el arte, etc. Por ello, la solución a una demanda específica de iluminación debe ser resuelta en un marco interdisciplinario.

Hasta no hace muchos años, el diseño de iluminación implicaba suministrar luz en cantidades apropiadas a fin de posibilitar la realización de las tareas con alto rendimiento visual. El aspecto cualitativo se limitaba, eventualmente, a eliminar o reducir posibles efectos de deslumbramiento. Sin embargo, por un lado el descubrimiento de que la luz no sólo afecta las capacidades visuales de las personas sino también su salud y bienestar, y por otro lado, el vertiginoso desarrollo tecnológico de fuentes luminosas, dispositivos ópticos y sistemas de control y la necesidad de utilizar los recursos energéticos de manera más eficiente, por otro, le dieron al concepto de diseño un perfil notablemente más cualitativo.

Teniendo en cuenta ese nuevo enfoque, se puede decir que un sistema de iluminación eficiente es aquel que, además de satisfacer necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables, posibilita a los usuarios disfrutar de atmósferas agradables, emplea apropiadamente los recursos tecnológicos (fuentes luminosas, luminarias, sistemas ópticos, equipos de control, etc.) hace un uso racional de la energía para contribuir a minimizar el impacto ecológico y ambiental; todo esto por supuesto, dentro de una marco de costos razonable, que no solamente debe incluir las inversiones iniciales sino también los gastos de operación y mantenimiento.

2.2 Eficiencia y condiciones de servicio

Las condiciones de servicio de una instalación de iluminación se relacionan con las necesidades visuales de los ocupantes de los ambientes iluminados. Si bien es cierto que el sistema visual humano posee una notable capacidad de adaptación, pudiendo desarrollar tareas bajo condiciones de iluminación muy distintas, hay un vínculo perfectamente demostrado entre *bienestar y productividad con condiciones de iluminación.* Esta es la principal razón por la cual la instalación de un local debe proveer a sus ocupantes la calidad de iluminación necesaria para el tipo de actividad que allí se realice, preocupación propia de quien controle el sistema o administrador. Estas son las denominadas *condiciones de servicio* que deben caracterizar a toda instalación de iluminación.

Las condiciones de visión, confort y atmósfera visual, conocidas también como *"Condiciones visuales y de diseño (CVD)",* son el objetivo primordial de todo sistema de iluminación y nunca deberán situarse por debajo de los valores mínimos recomendables, bajo riesgo de deteriorar la seguridad laboral, la higiene visual o la productividad. El análisis de la eficiencia de un sistema de iluminación

requiere como punto de partida la definición de cada uno de los componentes de las CVD:

a) ***Condiciones de visión****.* Aquellas necesarias para el desarrollo normal de las actividades visuales del local; están satisfechas por la mínima cantidad de luz necesaria sobre el plano de trabajo

b) ***Confort visual****.* Implica la ausencia de deslumbramiento y el correcto balance de luminancias.

c) ***Atmósfera visual (ambientación)*** Puede definirse como la impresión que el espacio iluminado causa en las personas, producida por una conjunción de aspectos del local como color de las paredes, tipo y disposición del mobiliario, etc. La iluminación juega un papel preponderante en la ambientación.

Las condiciones de visión y confort están especificadas, según el tipo de tareas, en las normas de diseño adoptadas para la instalación, estas dan una orientación al respecto mediante parámetros físicos, susceptibles de ser mensurados o calculados, el más sencillo de estos, y por ende el más usado, es la iluminancia horizontal mínima sobre el plano de trabajo que debe ser un parámetro de diseño de la instalación. En nuestro país, se establecen en la Norma Oficial Mexicana *NOM-025-STPS "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo"* de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social como "niveles de iluminación"

La iluminancia horizontal *(E_h)* puede determinarse por medición o por cálculo, este último caso se emplea en proyectos de instalaciones.

A diferencia de las condiciones de visión y confort visual mencionadas anteriormente, la atmósfera visual no puede ser reducida a parámetros mensurables, quedando hasta cierto punto liberada a criterio y gusto del diseñador del espacio

La preservación de las CVD es un punto primordial para el correcto abordaje de la eficiencia energética, lo contrario puede conducir a un detrimento de las condiciones de visión o de valorización del espacio. Si un local no reúne los valores mínimos de iluminancia, debe presuponerse que no está proveyendo a los usuarios las condiciones mínimas de visión, lo cual puede causar disconfort y baja productividad, además de causar el incumplimiento de las normas. Un sistema así no puede ser considerado eficiente aunque la cantidad de energía consumida fuera menor a cualquier otro.

Tarea visual del puesto de trabajo	*Área de trabajo*	*Niveles mínimos de iluminación (Lux)*
En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos	Áreas generales exteriores: patios y estacionamientos	20
En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos	Áreas generales interiores: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia	50
Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina	Áreas de servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y parlería	200
Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina	Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas	300
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble e inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio	Talleres de precisión; salas de cómputo, áreas de dibujo, laboratorios	500
Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas	Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies, laboratorios de control de calidad	750
Alta exactitud en la distinción de detalles: ensamble, proceso e inspección de piezas pequeñas y complejas, acabado con pulidos finos	Áreas de proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulido fino	1,000
Alto grado de especialización en la distinción de detalles	Áreas de proceso de gran exactitud	2,000

Tabla 2.1 Niveles mínimos de iluminación establecidos en la Norma
Fuente. NOM-025-STPS-1999

2.3 Evaluación de la eficiencia energética

La iluminación puede ser considerada como un sistema conversor de energía, en donde la energía de origen eléctrico, es transformada en “condiciones de visión, confort y de atmósfera visual”

La conversión debe de realizarse con la menor cantidad de energía posible, siempre que las condiciones visuales y de diseño mínimas estén aseguradas, esta es la definición de la eficiencia energética.

Si las condiciones visuales y de diseño del espacio en un local están satisfechas, puede evaluarse la eficiencia del sistema mediante la cantidad de energía que está disipando. Un sistema será mas eficiente cuanto menos energía consuma.

En forma analítica, la energía puede determinarse de la siguiente manera:

$$dE = P\ dt \qquad \cdots\cdots (1)$$

donde:

E es la energía consumida por el sistema de iluminación (kWh), y dE su derivada
P es la potencia instalada en iluminación (kW)
t es el tiempo considerado (horas) y dt su derivada

Debido a que la iluminación en servicio va cambiando durante el periodo de tiempo t de acuerdo a las necesidades y uso de la instalación que la alberga, la potencia P no permanece constante, para lo cual es preciso realizar la operación matemática de integración para calcular la energía, tal cual lo haría un medidor de energía:

$$E = \int_{T_1}^{T_2} P(t)\ dt \quad \cdots\cdots (2)$$

siendo:

E energía consumida por el sistema de iluminación (kWh) en un cierto periodo de tiempo
$P(t)$ potencia instantánea del sistema (kW)

Si se conoce el valor medio de la potencia $\overline{P}$, (con un diagrama de cargas, por ejemplo) la ecuación (2) puede resolverse de la siguiente manera:

$$E = \overline{P}\ t \qquad \cdots\cdots (3)$$

Si se analiza la ecuación (3) y de acuerdo a la definición de eficiencia energética, se infiere que esta puede lograrse minimizando la potencia P o bien el periodo t por lo que se involucran allí dos aspectos fundamentales para llegar a la eficiencia, por un lado aquel intrínseco a la instalación, relacionada con la potencia P y por el otro, el tiempo de encendido t o uso que se haga de ella. Por lo tanto resulta que la eficiencia energética depende directamente de la *eficiencia energética de la instalación* y por la *eficiencia en el uso*.

Este concepto puede explicarse si imaginamos que las lámparas en un local permanecen encendidas cuando los ocupantes abandonan las instalaciones o bien no se aprovecha la luz natural, se tienen aquí dos situaciones de *ineficiencia energética* debidas a malas prácticas de los usuarios, antes que la instalación en sí.

Cada término puede definirse como sigue:

- ***Eficiencia de la instalación:*** Es el mínimo requerimiento de potencia de la instalación para lograr las condiciones de visión necesarias.

- ***Eficiencia de uso:*** Es el mínimo uso que puede hacerse del sistema de iluminación sin menoscabo de las condiciones de visión, disminución del confort o afectación de tareas.

Para evaluar la eficiencia total de un sistema de iluminación, no podría hacerse tan directamente como una suma de eficiencias, este planteamiento es conceptual, y solo es para expresar el hecho de que cada una de ellas contribuye en definitiva al ahorro de energía.

Eficiencia energética de la instalación

Cuando se desea establecer la eficiencia del sistema de iluminación, se debe tomar en cuenta el carácter de uso, como se mencionó la eficiencia de una instalación está definida por la potencia que se necesita para lograr las condiciones de visión, y dependerá de las características de los equipos necesarios para ello.

El conocimiento de la potencia de una instalación de iluminación en un determinado local es útil si puede ser comparado con el de otras instalaciones de referencia o bien con normas o recomendaciones en la materia. Para ello es apropiado utilizar una misma escala, convirtiendo valores absolutos en específicos o relativos. Éstos pueden estar referidos a la superficie de los locales (W/m^2), al número de usuarios de la instalación (W per capita), a las condiciones visuales del local (W/lux), etc.

De entre todos los índices el mas orientativo es la densidad de potencia eléctrica en alumbrado (DPEA) expresada en Watts instalados por unidad de superficie [W/m^2]. Es evidente que una instalación será más eficiente cuanto menor sea la DPEA. Este índice facilita la comparación de diferentes tipos de locales.

En México se realiza la comparación con los valores establecidos en la Norma Oficial Mexicana *NOM-007-ENER "Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales"* en la tabla 2.2 se muestran los valores establecidos en la Norma por tipo de instalación.

De la misma manera es posible, de acuerdo a la CVD de cada tipo de local y a la tecnología disponible, desarrollar modelos de eficiencia caracterizados por un *índice de potencia específica de iluminación* P_{ei} la cual depende de otros aspectos como el valor de iluminancia horizontal, características fotométricas de las lámparas, factor de utilización, eficacia de las lámparas y sus balastro, etc.., estos valores de P_{ei} pueden resultar más orientativos para la evaluación de instalaciones.

Tipo de edificio	*DPEA [W/m^2]*
Oficinas	14
Escuelas y demás centros docentes	16
Establecimientos comerciales	20
Hospitales	17
Hoteles	18-22*
Restaurantes	16-20*
Bodegas	13
Recreación y cultura	15-24*
Talleres de servicio	16-27*
Carga y pasaje	13-16*

Tabla 2.2 Densidad de potencia eléctrica en alumbrado para sistemas de iluminación interior
Fuente: NOM-007-ENER-2004
***Los valores dependen del uso específico por tipo de edificio**

2.4 Diagnóstico energético en el sistema de iluminación

De acuerdo con estudios realizados por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, se observa que en edificios no residenciales como son centros comerciales, de educación de salud y oficinas, el consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación interior suele representar entre el 70 y 90% del total consumido en un inmueble, siempre y cuando no se cuente con equipos de aire acondicionado. Al ser un porcentaje alto en consumo de energía, la iluminación se considera una de las principales áreas de oportunidad para implantar medidas de ahorro de energía.

El Diagnóstico Energético permite identificar los potenciales de ahorro de energía en los sistemas de iluminación en inmuebles, así como las medidas económicamente rentables en este tipo de instalaciones.

Con el estudio es posible establecer principalmente:

- Eficiencia energética actual del inmueble
- Potenciales de ahorro de energía eléctrica
- Potenciales ambientales y energéticos, basados en los elementos necesarios para generar la energía eléctrica en una planta termoeléctrica del Sistema Eléctrico Nacional: Reducción de contaminantes al medio ambiente (CO_2, SO_2, NO_x), conservación de los combustibles, reducción del consumo de agua
- Estimación de la eficiencia energética posterior a la implantación de medidas
- Estimación de la inversión requerida para la implantación de medidas
- Tiempo de recuperación de la inversión a valor presente

2.5 Aspectos de la metodología de análisis

A continuación se describen los elementos que constituyen el citado Diagnóstico, y que se elabora en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, tratando de abarcar los puntos medulares en cuanto al análisis técnico-económico. Toda la información para la elaboración del diagnóstico se recopila a partir del historial de facturación eléctrica y un censo de equipos, que incluso puede realizar el usuario sin el apoyo de un consultor especialista (ver anexo 1. "Diagnóstico energético en el sistema de iluminación. Formatos del levantamiento de datos")

El contenido general del reporte que se entrega como Diagnóstico Energético de primer nivel es el siguiente[1]:

I. Resumen ejecutivo

II. Diagnóstico energético

1. *Datos del inmueble*
2. *Consumo energético actual*
3. *Medidas de ahorro*

   a) *Medidas económicamente rentables*
   b) *Medidas operativas*

Anexos

1. *Aspectos técnicos*

   a) *Consideraciones del estudio*
   b) *Estimación de impactos ambientales*
   c) *Análisis de la facturación eléctrica*
   d) *Análisis del censo de equipos*
   e) *Tabla resumen de medidas rentables*

El documento presenta una breve introducción sobre la situación energética del inmueble mediante datos de facturación eléctrica, información del censo de equipos de iluminación realizado, así como datos del personal y superficie construida, los cuales son utilizados para establecer el grado de eficiencia de la instalación a través de índices energéticos.

La parte medular del reporte es la correspondiente a los potenciales de ahorro detectados por concepto de ahorro de energía eléctrica y económico, monto de inversión requerido y tiempo de recuperación de la misma. Esta información se

[1] *Diagnóstico de primer nivel.* Al tratarse de un estudio de prefactibilidad técnica y económica, se establece y propone la necesidad de realizar por parte del usuario, estudios mas profundos y detallados comprendidos en un proyecto denominado ingeniería de detalle, con el fin de integrar una gama mas amplia de alternativas, lo que permitirá obtener mayores ahorros y beneficios.

presenta por medio de una tabla resumen que incluye las medidas técnica y económicamente rentables.

Con objeto de dar una idea general sobre las medidas a implantar se presenta brevemente la descripción de cada una de las propuestas en el apartado de recomendaciones para el ahorro de energía, dividido en dos grupos: medidas operativas y tecnológicas. Finalmente, se presenta un consolidado de las medidas propuestas con los resultados, descripción de los equipos, los datos derivados de la evaluación económica y los datos sobre los ahorros estimados al implementar las medidas.

Análisis de la información

a) Facturación Eléctrica

Se analiza cada uno de los conceptos de la facturación eléctrica, donde es posible identificar otras posibles medidas de ahorro de energía; como un programa de control de la demanda, análisis del factor de potencia, o bien otras opciones tarifarias. La forma de realizar el análisis comienza por presentar la información de la facturación eléctrica de la siguiente forma:

- *Datos eléctricos:* Tarifa eléctrica, demanda máxima, consumo de energía, factor de potencia, factor de carga, importes, y precio medio de la energía

- *Relación de índices energéticos:* Densidad de potencia eléctrica por área, por persona, Índice de consumo de energía eléctrica (ICEE), ICEE de referencia Conae y densidad de energía eléctrica por persona.

- Gráficas de consumo eléctrico y costo eléctrico durante el periodo de análisis.

b) Censo de equipos

El análisis del censo de equipos de iluminación consiste en determinar la potencia instalada para realizar la comparación con la densidad de potencia eléctrica en alumbrado con base en la NOM-007-ENER, la cual establece los valores límite que debe cumplir cada tipo de inmueble no residencial (aunque sólo se aplica en construcciones nuevas o en ampliaciones y modificaciones de los ya existentes)

Los valores de la norma sirven como referencia para establecer el nivel de eficiencia energética[2] del inmueble que, a su vez, indica los potenciales de ahorro de energía en iluminación.

[2] *La NOM-007-ENER-2004* define como *eficiencia energética* la que persigue obtener el máximo rendimiento de la energía consumida, a través del establecimiento de valores límite de la DPEA sin menoscabo del confort psicofisiológico de los ocupantes de un inmueble.

Con el censo también se puede ver las tecnologías instaladas por familia de lámparas y si se trata de equipos eficientes, este apartado es el más importante ya que derivado se establecen los equipos de iluminación que son factibles a cambio y el potencial de ahorro; a partir de una evaluación de diferentes alternativas tecnológicas por medio de un estudio técnico y económico (ver anexo 2 "Tecnología de lámparas fluorescentes")

De igual manera que el análisis anterior, la información se presenta ordenada como sigue:

- *Datos eléctricos:* Cantidad de equipos, demanda y consumo del sistema de iluminación

- *Relación de índices energéticos de alumbrado:* Densidad de potencia eléctrica por persona, densidad de energía eléctrica por área, por persona, y DPEA.

- *Distribución del alumbrado general:* Potencia y consumo por cada grupo de equipo.

- *Gráfica de distribución de los equipos de alumbrado.*

c) Eficiencia energética

La eficiencia energética de la instalación se establece a partir de índices energéticos. La determinación de los índices energéticos actuales y posteriores a la implantación de medidas se realiza a través de la relación de energía eléctrica y potencia instalada con respecto al área construida del inmueble.

- ***Densidad de potencia eléctrica en alumbrado (DPEA)***

La normalización internacional sobre todo la de países avanzados (como Estados Unidos), ha desarrollado normas en el sentido de limitar la carga instalada por unidad de cada área tipo por concepto de iluminación. Esta densidad está íntimamente ligada con la iluminancia, de modo que sólo es posible cumplir con ambas haciendo un buen uso de la energía eléctrica. En México la densidad actual para áreas generales de oficinas es de 14 W/m^2. Sin embargo cabe señalar que en los edificios estudiados, la densidad está algunas veces excedida a pesar de que los niveles son inferiores a los recomendados o bien por debajo de los límites sin que ello signifique el uso de equipos eficientes.

La Norma Oficial Mexicana *NOM-007-ENER* sobre eficiencia energética en edificios no residenciales vigente desde 1996, establece la densidad de potencia eléctrica por alumbrado (DPEA) máxima en espacios interiores y exteriores de edificios no residenciales y se calcula como:

$$DPEA = \frac{Potencia\ instalada}{m^2} \quad [\ W/m^2]$$

- ***Índice energético anual por superficie (IEAS)***

Se define como la relación de la energía eléctrica consumida por concepto de iluminación y la superficie construida en un periodo anual, es decir este índice proporciona una densidad de consumo de energía de los equipos instalados.

$$\underset{ilu\,min\,ación}{IEAS} = \frac{kWh_{anuales}}{m^2} \quad [kWh/m^2 – año]$$

- ***Índice de consumo de energía eléctrica (ICEE).***

Este índice proporciona el consumo de energía eléctrica por unidad de superficie construida, permite establecer el grado de eficiencia global actual de la instalación

$$ICEE = \frac{kWh_{anuales}}{m^2} \quad [kWh/m^2 – año]$$

La Conae a partir de la operación del Programa Cien Edificios Públicos en 1999, estableció Índices máximos de consumo de energía, los cuales se obtuvieron evaluando edificios y sus índices de consumo, proyectando los valores al aplicar medidas de ahorro, estos valores de referencia se han ido modificando desde entonces.

Región	IMCEE (kWh/m^2-año)	
	Con aire acondicionado	Sin aire acondicionado
Norte	160	60
Centro	100	60
Sur	190	60

Tabla 2.3 Índice Máximo Consumo de Energía Eléctrica (IMCEE)
para edificios de oficinas.
Programa de Ahorro de Energía en inmuebles APF 2006
Fuente: Página del Programa en internet 2007

d) Evaluación técnica - económica medidas de ahorro

Evaluación técnica

Después del análisis del censo de equipos se elabora la propuesta de sustitución de equipos por sus equivalentes ahorradores que producen al menos el mismo flujo luminoso con menor demanda de potencia. En esta etapa se calcula la

reducción en el consumo de energía, la reducción por demanda (kW) en un mes al aplicar las medidas y con esto los ahorros respectivos.
Como punto adicional, se estiman los beneficios ambientales derivados del ahorro de energía, éstos son determinados con base en los requerimientos necesarios por una central termoeléctrica para generar un kWh de electricidad.

Evaluación económica

La evaluación económica se realiza a partir de la información obtenida de la evaluación técnica:

a. *Ahorro eléctrico*
b. *Ahorro económico*
c. *Inversión requerida para aplicar las medidas*

El procedimiento para determinar la rentabilidad del reemplazo está basado en la metodología de la ingeniería económica, la cual considera la tasa interna de retorno (TIR), la relación beneficio/costo, así como el tiempo de recuperación de la inversión a valor presente.

La TIR es la tasa a la cual el valor presente es igual a cero; en otras palabras, es la tasa de interés pagada sobre una cantidad de dinero tomada en préstamo, de tal forma que el pago debe llevar el saldo a cero, en un periodo de tiempo establecido. Para decidir si un proyecto es rentable la TIR deberá ser mayor a la tasa real de descuento, la cual está establecida por la banca comercial.

La relación beneficio/costo es el resultado de dividir los beneficios económicos entre los costos, ambos a valor presente, esta relación debe ser mayor o igual a 1; además se desea que la inversión inicial total sea recuperada en un tiempo menor a la vida útil nominal de los equipos.

Con objeto de dar una visión general de todas las medidas propuestas se realiza una vinculación con la información obtenida en la evaluación técnica y económica, se presentan los resultados en la tabla *medidas de inversión para el ahorro de energía* (ver anexo 4 “Tabla resumen medidas de inversión para el ahorro de energía”), la cual muestra un resumen de los resultados, en ésta se calculan los porcentajes de ahorro en carga instalada, potencia demandada, consumo de energía y ahorro económico para cada una de las medidas recomendadas, con respecto a los datos de facturación.

2.6 Problemas detectados frecuentemente

A continuación se enlistan los problemas relacionados con los sistemas de iluminación que frecuentemente se encuentran en las instalaciones visitadas.

- ***Transformadores sobredimensionados*.** Esto provoca que se trabaje con bajo factor de potencia y baja eficiencia. El rango óptimo de carga para transformadores es variable, pero generalmente se encuentra entre 50% y 70% de plena carga, en ocasiones se pueden tener dos transformadores idénticos trabajando cada uno en promedio a menos de 25% de su carga nominal.

- ***Transformadores permanentemente conectados*:** En ciertas instalaciones el consumo a determinadas horas cae casi a cero, haciendo que el transformador trabaje prácticamente en vacío. En estas condiciones la eficiencia es cero y el factor de potencia es muy bajo.

- ***Tableros con puntos calientes y circuitos compartidos*.** En algunos tableros la falta de mantenimiento y/o trabajos deficientes se ha encontrado malos aprietes que se convierten en puntos calientes y desperdicio de energía. También es común encontrar que la capacidad de corriente de los cables y la corriente nominal de los interruptores no concuerdan, provocando altas temperaturas generadoras de mayores pérdidas y reducción de vida de aislamientos. Otro problema es encontrar circuitos compartidos para sistemas de fuerza y alumbrado, esto dificulta o imposibilita incluso el control y el monitoreo de parámetros relevantes para auditoria y control de energía.

- ***Sistemas de tierra defectuosos*.** Un sistema de tierras defectuoso acarrea muchos problemas, incluyendo los de seguridad y eficiencia, interfiere en el funcionamiento correcto del equipo de protección, en el encendido confiable de lámparas fluorescentes, en los equipos de cómputo y en los dispositivos de estado sólido en general (como balastros electrónicos y sensores de presencia por ejemplo)

- ***Factor de potencia*.** Aunque los sistemas de iluminación generalmente no producen bajo factor de potencia, la instalación en conjunto si puede padecerlo. La corrección del factor de potencia es una de las inversiones más rentables. Sin embargo es común encontrar edificios que llevan meses pagando penalizaciones por bajo factor de potencia porque no existe un monitoreo por parte de los responsables del mantenimiento para prevenir las causas, o bien por falta de comunicación entre el área financiera y de mantenimiento.

- ***Seccionamiento deficiente de circuitos*.** Es común encontrar áreas muy grandes con un número reducido de circuitos. Esto provoca una falta de control sobre la iluminación de áreas específicas, con el consiguiente desperdicio de energía.

- ***Regulación de tensión*.** Las fluctuaciones de tensión tienen siempre un efecto negativo en las cargas de cualquier tipo, en México la regulación puede variar ±10% con respecto a la nominal, pero frecuentemente se tienen en la práctica variaciones de %12 y hasta 15% en algunos casos. Como dato se sabe que en lámparas incandescentes, un aumento de 10% en la tensión provoca incremento de 21% en el consumo y 70% de reducción de vida. Para sistemas de alta intensidad de descarga (HID) el efecto no es tan drástico, pero no deja de ser importante. En sistemas fluorescentes la misma variación representa en promedio 12% de incremento en la potencia de línea y para HID se tiene un porcentaje que depende del circuito del balastro, pero fluctúa entre 5% y 8%.

  Los balastros también se ven afectados por el aumento de tensión. Para balastros fluorescentes, por cada Volt adicional, la temperatura en la caja del balastro aumenta 0.8 °C, por cada °C las perdidas crecen 0.5%, es decir cada Volt hace que las pérdidas aumenten aproximadamente 0.4%. El factor de potencia también se ve afectado: 10% de incremento causa que un balastro con alto factor de potencia (90% - 100%) caiga a menos del 90% establecido por norma, con los consiguientes perjuicios en todo el circuito.

- ***Balastros de baja eficiencia*.** Por una errónea política de compra por parte de contratistas y usuarios basada exclusivamente en el precio, el mercado nacional se encuentra inundado por balastros fluorescentes de altas pérdidas, mal llamados de baja energía. Estos balastros representan 80% del mercado nacional y tienen un factor de eficacia del balastro (BEF) 12% menor que los balastros normales, 27% menor que los electromagnéticos ahorradores y 42% menor que los electrónicos, además de que no cumplen con el factor de balastro (FB). Aún en condiciones óptimas trabajan a las temperaturas máximas permitidas por normas (NOM-058-SCFI), con la consiguiente disminución de vida y eficiencia. Pueden representar además un peligro para usuarios e instalaciones porque no cuentan con un termoprotector integrado. El desconocimiento de la tecnología de los balastros puede llevar a no obtener los mayores beneficios de ahorro de energía como se ve en el siguiente punto

- ***Incompatibilidad de equipos*.** El uso de lámparas ahorradoras con balastros convencionales provoca sobrecalentamiento en el balastro y reducción de vida de la lámpara, así también el uso de balastros de altas pérdidas o línea económica con lámparas ahorradoras, causa un incertidumbre en el arranque.

  Como ejemplo en el caso de un sistema de dos lámparas fluorescentes de 32W (lámparas ahorradoras T8) en la siguiente tabla se puede ver la potencia de demanda del equipo para cada tipo de balastro, donde la opción de operación con un balastro de tipo electrónico es la más recomendada para ahorro de energía.

Tipo de balastro	Potencia del conjunto [W]
EM línea económica	72
ELTN premium	59

Tabla 2.2. Operación de un sistema fluorescente 2X32 con balastro electromagnético (EM) de bajas pérdidas y balastro electrónico (ELTN) circuito integrado

- ***Balastros ociosos*.** Cuando el mantenimiento es pobre, las lámparas quemadas no son sustituidas en corto tiempo. No hay entonces producción de luz pero sí consumo de energía. El balastro permanece conectado a la red tomando su potencia nominal de circuito abierto (Wo). De acuerdo con el tipo y potencia del balastro Wo puede tomar entre 6 y 12 Watts.

- ***Sistemas fluorescentes de encendido instantáneo*.** Los sistemas de encendido instantáneo (*EI*, llamados también slimline) presentan claras desventajas si se les compara con los de encendido rápido (*ER*). Comparándolos sobre la misma base, los balastros *EI* son en promedio 25% más caros, 37% más pesados, 65% más voluminosos y 23% menos eficientes. La lámpara de *EI* vive 55% menos y su eficacia es hasta 15% menor que la de ER. Por otro lado *EI* no puede ser controlado por equipos de control de potencia (balastros electrónicos dimeables) y además producen más ruido audible.

- ***Mezcla de lámparas con diferentes TCC*.** A causa de problemas en stock y a veces de falta de cuidado por parte del personal de mantenimiento, es común encontrar áreas con lámparas fluorescentes de dos y hasta tres temperaturas de color diferentes (TCC). Además del aspecto estético, la calidad de la luz que se modifica al mezclar otras lámparas de las inicialmente proyectadas, la estimación de reflectancias para proyecto o auditoria se complica.

- ***Uso y abuso de lámparas incandescentes*.** Es común encontrar áreas como corredores, salas de espera, oficinas, salas de juntas, etc. con altos valores de iluminancia a base de lámparas incandescentes convencionales, tipo reflector, y halógenas de bajo voltaje. Estas lámparas pueden ser sustituidas por lámparas compactas fluorescentes para iluminación general a baja altura de montaje o por lámparas de HID de baja potencia para alturas medias. Estas medidas permiten grandes ahorros de energía y una importante disminución de carga térmica, pues ya que en la práctica cada 3.5 kW de potencia reducida reduce una tonelada de aire acondicionado.

- ***Luminarios ineficientes.*** Debido a la obsolescencia de algunas normas nacionales y a la falta de observancia de las normas vigentes, existe una enorme diversidad de luminarios para lámparas fluorescentes que no cumplen con los requisitos mínimos de calidad. Los principales problemas detectados

son: mal ensamblaje, pintura de mala calidad (baja reflectancia, reducido espesor y mala adherencia), dimensiones irregulares, difusores de material rápidamente degradable por la radiación ultravioleta (UV), lámina de menor calibre al requerido, diseño óptico ineficiente e información fotométrica casi siempre inexistente. El espesor de la lámina es determinante para que la rigidez del luminaria evite amplificar el ruido producido por el balastro y para que se asegure un buen contacto entre las portalámparas y las bases. Si no existe información fotométrica completa y confiable, es imposible garantizar el nivel de iluminancia, las relaciones de uniformidad, el índice de probabilidad de confort visual (IPCV), el factor de eficacia del luminaria (FEF) y mucho menos la eficiencia.

- ***Instalación defectuosa de luminarios.*** La instalación defectuosa contribuye a producir ruido, incertidumbre en el arranque y calentamiento anormal de lámparas y balastros. Luminarios mal instalados tienden a amplificar el ruido producido normalmente por el balastro. La falta de aterrizamiento interfiere en el encendido de las lámparas de encendido rápido. Un luminario con diseño térmico defectuoso o con montaje que no permita un buen enfriamiento, provoca que el balastro trabaje a temperatura mayor con el aumento de pérdidas ya comentado, haciendo que las lámparas reduzcan su eficacia al rebasar su punto de óptima temperatura de trabajo.

- ***Mantenimiento.*** La falta de un buen mantenimiento es común en edificios. Un sistema de iluminación que no recibe mantenimiento adecuado, puede reducir su eficiencia hasta en un 40%. Se debe de efectuar revisión eléctrica y limpieza periódica a todos los componentes, especialmente al reflector, al controlente y a la lámpara. Se deben detectar las lámparas en falla sobre todo en circuitos de *EI*, ya que la operación de un balastro para dos lámparas con sólo una de ellas produce un sobrecalentamiento excesivo en la bobina tickler (secundario auxiliar), afectando notablemente la vida y las pérdidas.

- ***Niveles de iluminancia.*** La IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) ha establecido las iluminancias recomendables de acuerdo con la tarea visual a realizar y la edad de los ocupantes, actualizándolas constantemente. La última revisión se realizó a fines del año 2002. Por su parte la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Iluminación (SMII) adecuó esos niveles a las condiciones de nuestro país. Es común encontrar áreas sobreiluminadas para ciertas aplicaciones, aunque lo más frecuente es encontrar niveles bajos en escuelas y oficinas.

- ***Bajo aprovechamiento de luz natural.*** A pesar de que en muchas instalaciones como edificios y comercios la aportación de luz natural es excelente, la falta de controles manuales o automáticos evita un óptimo aprovechamiento de este recurso. Mediante el control se pueden apagar durante ciertas horas del día lás lámparas que estén colocadas cerca de las ventanas o bajo domos o láminas translúcidas.

- ***Proyectos sin ingeniería.*** Desafortunadamente este es un punto que se repite constantemente, se han encontrado instalaciones pésimamente diseñadas, que van desde el uso todavía de equipos obsoletos, hasta el uso inapropiado de las tecnologías: lámparas, balastros, luminarios, y sistemas de control mal aplicados, provocando descontento en los usuarios, desaliento en la compra de equipos eficientes, y además que se reporta así, poca evidencia de beneficios económicos. Aún peor, muchas veces existen problemas totalmente ajenos a la ingeniería, como el atender otro tipo de intereses, proporcionar un proyecto a *especialistas* pocos serios, que ofrecen servicios a bajo costo *en el mejor* de los casos, sin los conocimientos y experiencia adecuada, o porque se beneficia directamente o por terceros, a distribuidores y/o fabricantes de equipos cuyos productos no ofrecen un verdadero beneficio en cuanto ahorro de energía. Hablando de los inmuebles de la APF casi todos los problemas que se mencionaron se dan debido a que continuamente se rota el personal encargado del mantenimiento, por lo que se pierde continuidad en los programas de ahorro de energía, se repiten los casos de atender otros intereses o no cuentan con los apoyos para eficientizar sus instalaciones.

2.7 Evaluación de los sistemas de iluminación

Una administración adecuada de la energía eléctrica en iluminación de edificios no residenciales comprende cinco puntos principales:

1. Realización de la auditoria al sistema de iluminación
2. Identificación de las opciones para un uso óptimo de la iluminación
3. Realización de un programa para el uso óptimo de la iluminación
4. Implementación del plan de acción
5. Monitoreo de los resultados obtenidos y actualización permanente de datos

Con la auditoria se conoce el estado real de la instalación, esto es la eficiencia energética del sistema de iluminación. La metodología seguida en un estudio de ahorro de energía aplicado a un sistema de iluminación depende, entre otras cosas, del alcance previsto y de la experiencia de los especialistas responsables.

No existe por lo tanto una metodología obligatoria. Como referencia, se enlistan las actividades principales:

- Recopilación de antecedentes
- Análisis de información y cronograma de actividades
- Levantamiento y mediciones en campo
- Procesamiento y análisis de la información
- Determinación de la situación existente
- Establecimiento de alternativas
- Análisis técnico-económico de alternativas
- Pruebas eléctricas y fotométricas
- Determinación de la mejor opción

- Elaboración de especificaciones y volumen de obra
- Ruta crítica
- Conclusiones y recomendaciones

Uso de formatos en las auditorias energéticas a sistemas de iluminación

El uso de formatos adecuados es muy útil en los estudios de ahorro de energía en iluminación para hacer los cálculos económicos y energéticos, ya que permite establecer con claridad la eficiencia energética actual del sistema y así poder elaborar las propuestas que reporten los mayores beneficios con los menores costos. La información contenida en los formatos permite establecer en principio la situación actual del sistema de iluminación en cuanto a características de los equipos instalados, tecnologías, aplicación, características de las áreas, hábitos de uso, interacción con equipo adicional, etc.

En el anexo 5 “Formato evaluación sistemas de iluminación”, se presenta un formato tipo que maneja los conceptos a evaluar en los sistemas de iluminación de las instalaciones Es recomendable que cada especialista o empresa consultora desarrolle los suyos, ya que el orden y la cantidad de datos obtenidos durante la inspección a la instalación depende de la metodología seguida y del alcance prefijado para cada estudio. Un estudio de alto nivel puede requerir muchas semanas de trabajo en campo y gabinete y el uso de formatos hasta con 150 parámetros. El manejo de formatos bien elaborados permite evitar la recolección de información excesiva, que cueste tiempo y dinero a cambio de un beneficio mínimo o incluso nulo.

3. Factor de potencia

En la actualidad el uso de los motores es indispensable en la actividad de cualquier industria, comercio, oficina, escuela, hospital, etc., incluso en el propio hogar, ya que sus aplicaciones van desde un ventilador casero, aire acondicionado, equipo de bombeo, ventilación industrial a procesos de fabricación especializados. Estos motores, consumen una gran potencia de tipo reactiva que es la que se utiliza para generar los campos magnéticos que son su principio de funcionamiento.

Aunque esta potencia reactiva no se utiliza para producir trabajo útil, es necesario que esté presente para la operación de los motores y otros equipos que utilicen el electromagnetismo para funcionar, tales como son transformadores, balastros para lámparas, reguladores, etc., por ello tiene que también generarse esta potencia y transmitirse desde las plantas generadoras hasta los usuarios. Al existir en una instalación eléctrica un bajo factor de potencia, es más costoso para la compañía suministradora proporcionar ese excedente de potencia reactiva requerida, por lo que aplica una penalización cuando este valor de factor de potencia se encuentra por debajo de valores establecidos.

Por lo tanto, es recomendable y adecuado llevar el valor del factor de potencia por arriba del mínimo establecido para no ser penalizados y obtener en su lugar bonificaciones y otras ventajas asociadas con la mejora del factor de potencia.

Definición. *El factor de potencia es un indicador de cuanta energía realmente se aprovecha y cuanta se desperdicia, proporciona la eficiencia con que se utiliza la potencia en una instalación o equipo para producir trabajo útil. Es decir de la potencia aparente demanda por la carga, cuanta se utiliza para producir un trabajo útil*

$$Factor\ de\ potencia = \frac{Potencia\ activa}{Potencia\ aparente}$$

Ya que el factor de potencia es por lo tanto un factor de utilización, la unidad de medida es adimensional, expresado en porcentaje va del cero al 100%.

3.1 Conceptos básicos

Considérese el siguiente circuito eléctrico en corriente alterna:

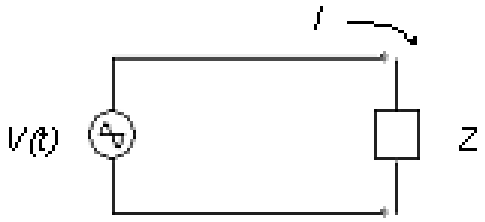


Figura 3.1 Circuito eléctrico en corriente alterna

Donde:

V(t) Es una fuente de tensión en corriente alterna [V]
I Es la corriente que circula por el circuito debido a la carga [A]
Z Es la carga que alimenta la fuente y que demanda la corriente I

En este tipo de circuitos, la carga Z puede ser de naturaleza resistiva y reactiva, estas últimas se dividen en inductivas y capacitivas.

Cargas resistivas.

Las cargas resistivas son aquellas que toda la energía la convierten en calor, como ejemplo de estas cargas tenemos calefactores, planchas, hornos de resistencia, lámparas incandescentes, etc., estas cargas demandan de la red solamente corriente activa. Al aplicar una tensión a una carga resistiva, la corriente que toma se encuentra en fase con esta, si se lleva a una gráfica las ondas de corriente y tensión, se puede ver que ambas se encuentran en fase, es decir el desfasamiento es 0°, por lo que ambas alcanzan sus valores máximos y mínimos al mismo tiempo. (figura 3.2)

En los circuitos eléctricos se representa a la carga resistiva con R y la unidad en el Sistema Internacional es el *Ohm* (Ω)

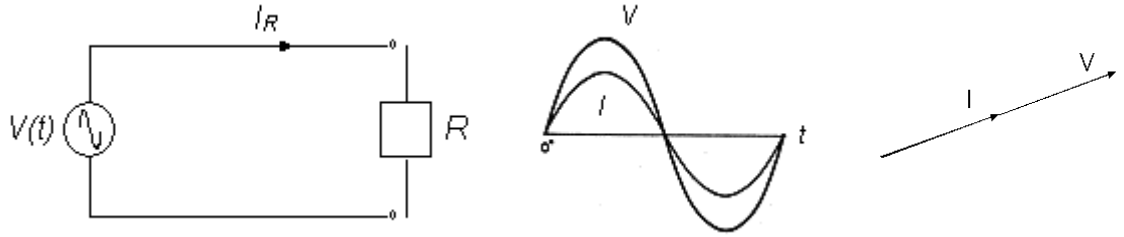


Figura 3.2 Representación de la carga resistiva:
a) Circuito eléctrico, b) Función senoidal, c) Diagrama fasorial

La potencia que demandan de la red este tipo de cargas se denomina potencia activa P y está dada por el producto de la tensión por la corriente $P = VI$

La unidad de medida de la potencia activa es el *Watt* [W]

Otras fórmulas para calcular P se obtienen de las ecuaciones de Joule y Ohm, y son:

$$P = V^2 / R \qquad [W]$$
$$P = I^2 R$$

Cargas reactivas

Las cargas reactivas de tipo inductivo, son aquellas que incorporan bobinas, como ejemplo de estas cargas tenemos a los hornos de inducción, transformadores, motores de inducción, reguladores, balastros para lámparas fluorescentes y de descarga, etc. Este tipo de cargas, además de consumir corriente activa, requieren de una corriente reactiva destinada a la creación de campos magnéticos necesarios para su funcionamiento. Para el caso de una carga inductiva teóricamente pura, la corriente reactiva inductiva aparece con un retraso de 90° respecto a la tensión.

La carga inductiva se representa con L y la unidad en el Sistema Internacional es el *Henry* [H]

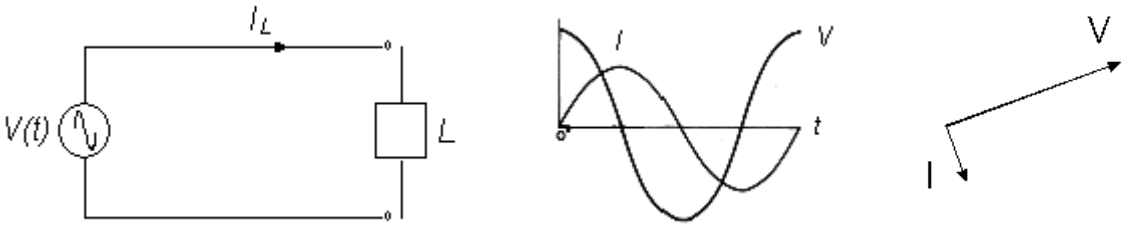


Figura 3.3 Representación de la carga reactiva inductiva pura:
a) Circuito eléctrico, b) Función senoidal, c) Diagrama fasorial

En un circuito con carga inductiva la corriente inductiva esta dada por:

$$I_L = \frac{V}{2\pi f\ L} \qquad [A]$$

Donde:

V Es la tensión en corriente alterna [V]
f Es la frecuencia de la red [Hz]
L Es la inductancia de la carga [H]

La potencia consumida por esta carga se denomina reactiva y la unidad de medida es el *Volt – ampere – reactivo* [VAR] y se puede calcular por:

$$Q = \frac{V^2}{2\pi f\ L} \qquad [\mathrm{VAR}]$$

Las cargas reactivas de tipo capacitivo son aquellas cargas donde la corriente se encuentra en adelanto 90° con respecto a la tensión, en la práctica estas cargas las representan los motores síncronos sobreexcitados y los capacitores.

La carga capacitiva se representa con C y la unidad en el Sistema Internacional es el *Farad* [F]

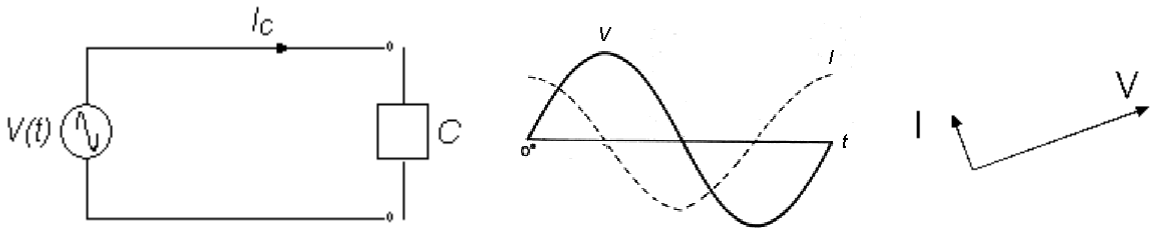


Figura 3.4 Representación de la carga reactiva capacitiva pura:
a) Circuito eléctrico, b) Función senoidal, c) Diagrama fasorial

La corriente capacitiva se calcula con la ecuación:

$$I_C = 2\pi f\ CV \quad [\mathrm{A}]$$

Donde:

V Es la tensión en corriente alterna [V]
f Es la frecuencia de la red [Hz]
C Es la capacitancia de la carga [F]

La potencia reactiva en los circuitos con carga capacitiva, cuya unidad es el *Volt – ampere – reactivo capacitivo* [$\mathrm{VAR_c}$] está dada por:

$$Q = 2\pi f\ CV^2 \quad [\mathrm{VAR_C}]$$

En *Ingeniería Eléctrica* se emplean las siguientes unidades:

Potencia	*Símbolo*	*Unidad*
Activa	P	kW
Inductiva	Q	kVAR
Capacitiva	Q_C	$kVAR_c$

Tabla 3.1 Unidades comúnmente utilizadas para la potencia en el área eléctrica

En las instalaciones eléctricas, la mayoría de las cargas son una combinación del tipo resistivo e inductivo principalmente, por lo que la carga del circuito puede representarse como una resistencia y una inductancia conectadas en serie:

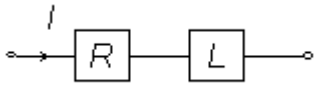


Figura 3.5 Representación de la carga *Z* como un circuito serie, en donde se demanda una corriente *I*

La corriente que demanda de la línea tiene entonces dos componentes, una componente en fase con la tensión, conocida como la corriente activa o debido a la parte resistiva de los componentes del circuito I_R capaz de producir un trabajo útil: movimiento, calor, luz, sonido, etc. y una componente desfasada 90° en atraso (teóricamente), conocida como la corriente reactiva inductiva I_L asociada con la parte reactiva de la carga y que por estar en cuadratura con la tensión, no produce un trabajo en sentido físico, pero que tiene la importantísima función de generar el flujo magnético necesario para el funcionamiento de los dispositivos de inducción.

La resultante de estas componentes es la corriente de la carga *I* desfasada de la tensión un ángulo θ.

$$I = I_R + I_L \qquad [A]$$

Gráficamente la expresión anterior se representa como:

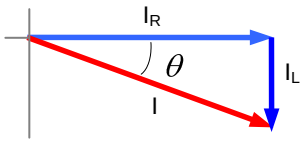


Figura 3.6 Corriente que demanda la carga debido a la parte resistiva e inductiva

El ángulo de fase o desfasamiento entre la tensión y la corriente, depende de la carga que se está alimentando, en la figura 3.6 se observa una carga predominantemente inductiva, la corriente se atrasa con respecto a la tensión en un desfasamiento menor de 90° por la componente resistiva de la carga.
De la misma figura se pueden deducir las ecuaciones de potencia en un circuito eléctrico:

La corriente activa se obtiene como $I_R = I\cos\theta$ por lo que el producto VI_R da como resultado la potencia activa P

$$Potencia\ activa\ (P) = VI\cos\theta \qquad [W]$$

De igual forma el producto VI_L donde $I_L = I\,sen\,\theta$ define la potencia reactiva que se representa con la letra Q.

$$Potencia\ reactiva\ (Q) = VIsen\theta \qquad [VAR]$$

Nótese que al igual que sucede con la corriente I para obtener una potencia total no se pueden sumar directamente sino en forma vectorial como se ve en la siguiente figura, conocida como triángulo de potencias:

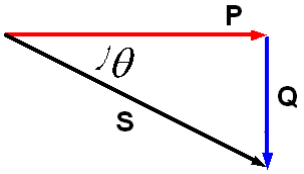


Figura 3.7 Triángulo de potencias

en donde S es la potencia total o aparente VI en [VA]

$$Potencia\ aparente\ (S) = VI \quad [VA]$$

Del triángulo de potencias y mediante relaciones trigonométricas básicas, se pueden deducir ecuaciones útiles para el cálculo del factor de potencia, a partir de datos conocidos.

$$fp = \frac{P}{S}$$

$$\Rightarrow \quad fp = \cos\theta$$

o bien, con análisis de unidades:

$$fp = \frac{kW}{kVA}$$
$$= \frac{kW}{\sqrt{kW^2 + kVAR^2}}$$

Si se multiplica la potencia por una unidad de tiempo, se obtiene la expresión del factor de potencia en función de energías o consumos de potencias en el tiempo:

$$fp = \frac{kWh}{\sqrt{kWh^2 + kVARh^2}}$$

El factor de potencia que se obtiene con la relación anterior, es el *factor de potencia medio o promedio* en un periodo, donde los *kWh* y los *kVARh* son datos reportados con los medidores de las compañías suministradoras.

3.2 El bajo factor de potencia

En la práctica en las instalaciones eléctricas de cualquier tipo, en conjunto todas las cargas representan una carga resistivo-inductiva debido a la presencia de motores del tipo inducción, transformadores, balastros, etc., teniendo todas ellas la característica de demandar dos tipos de potencia; potencia activa, que es la que desarrolla un trabajo útil y potencia reactiva, que es la que proporciona el campo magnético para que estos equipos puedan funcionar. La suma de estas dos potencias, se conoce como potencia aparente, ya que aunque es la totalidad de la que se demanda, no se consume totalmente para producir trabajo.

Por otro lado es una práctica común generalmente en las industrias, tanto los motores, como los transformadores, trabajan sobredimensionados, por las necesidades de operar a diferentes capacidades de carga, duplicidad de capacidad de transformadores por necesidad de no parar un proceso en caso de falla de un transformador, en una industria de acero, vidrio, etc.

Aunado a esto actualmente por el uso de equipos de iluminación que requieren balastros para operar, y aunque actualmente las tecnologías disponibles en el mercado ofrecen un alto factor de potencia, es frecuente la utilización de equipos de mala calidad que no cumplen con especificaciones adecuadas, lo mismo que sucede con el uso de motores muy viejos.

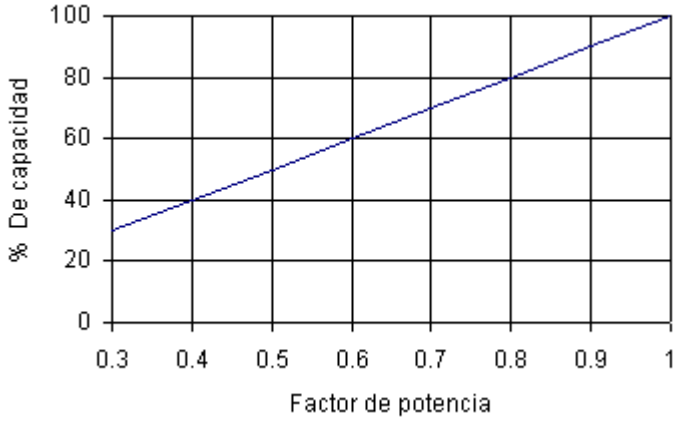
Todo esto, propicia que se demanden grandes cantidades de potencia reactiva de la línea de alimentación, potencia que *no se consume* sino que se convierte en forma de campos magnéticos, para luego ser regresada a la línea, sin embargo provocan un decremento del factor de potencia.

3.3 Consecuencias al presentarse un bajo factor de potencia

Cuando se tienen en una instalación eléctrica varias cargas de naturaleza inductiva, es decir con demanda de potencia reactiva, el factor de potencia de la instalación se ve afectado, entre mayor sea la corriente reactiva, mayor es el ángulo θ y menor el factor de potencia.

Al mismo tiempo al aumentar la corriente reactiva, se tiene un incremento en la corriente total con serios inconvenientes, no sólo para el usuario sino también para la compañía de suministro de energía eléctrica, los cuales se describen brevemente a continuación:

Disminución de la capacidad de los equipos de generación, distribución y maniobra de la energía. 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 éste 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 de la energía, si la corriente demandada llega a sobrepasar la capacidad de equipos existentes. En la gráfica 3.1 se muestra la curva típica de un transformador de distribución, en donde se pueden observar cómo su capacidad depende directamente del factor de potencia. Para valores reducidos de éste, la carga útil del equipo se ve notoriamente disminuida.



Gráfica 3.1 Influencia del factor de potencia en la capacidad de transformadores

Incremento en las pérdidas por calentamiento. La potencia que se pierde por calentamiento está dado por la expresión $P = I^2R$, donde I es la corriente total y R la resistencia eléctrica de los equipos: embobinados en 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 pérdidas pueden aumentar de manera

significativa. Las pérdidas debidas al efecto Joule son proporcionales al producto de la resistencia efectiva por el cuadrado de la corriente eficaz y en las práctica son por mucho las más importantes, como se puede ver, varian en forma cuadrática con respecto a dicha corriente, esto es, si la corriente se duplica, las pérdidas se cuadriplican; en cambio si la corriente se reduce por ejemplo en 30% las pérdidas decrecerán 51%.

La temperatura es un factor que modifica el comportamiento físico de cualquier conductor, por ejemplo, un alambre de cobre que debido a la corriente trabaje a 100° C, presentará una resistencia 1.314 veces mayor que cuando se encuentra a 20° C. Esto implica que las pérdidas por efecto Joule en dicho conductor aumentarán 31.4% por efecto térmico de la corriente. Este no es el único inconveniente; el aislamiento del conductor sufrirá las consecuencias de este calentamiento. En la práctica se considera que por cada 10° C de incremento en la temperatura promedio de operación, la resistencia de aislamiento y la vida se reducen a la mitad, con las consecuencias negativas en la seguridad y en los costos de mantenimiento por mano de obra y material, esto es válido también para motores, reguladores, arrancadores, reactores, balastros, transformadores, etc.

Ejemplo:

Se tiene una carga de 100 kW alimentada con un cable de 100 m de longitud calibre 3/0 operando con un factor de potencia de 0.75, su funcionamiento es de 680 horas al mes. Calcular los beneficios si se mejora el factor de potencia a 0.95. La carga es trifásica a 440 V conectada en delta.

Datos del cable: Calibre 3/0, resistencia $R = 0.207\ \Omega/km$

Solución

i) Cálculo con fp de 0.75:

La corriente por fase I_ϕ se obtiene a partir de:

$$P_\phi = \sqrt{3}\, V I_\phi \cos\theta$$

despejando: $I_\phi = \dfrac{P\phi}{\sqrt{3}\, V\ fp}$ [A]

sustituyendo: $I_\phi = \dfrac{100x10^3 W}{\sqrt{3}\,(440) V\ (0.75)} = 175$ [A]

Resistencia del cable:

$R = 0.207\,\Omega/km\,x\,0.1km$
$R = 0.0207\Omega$

Pérdidas por efecto Joule: $P = I^2 R$

$P = (175)^2(0.0207) = 634\,W$ por fase
$P_T = (3)(634) = 1.9\,kW$ para el circuito trifásico.

ii) Operación con fp de 0.95:

$$I_\phi = \frac{100x10^3 W}{\sqrt{3}\,(440)V\,(0.95)} = 138 \quad [A]$$

Pérdidas por efecto Joule:

$P = (138)^2(0.0207) = 395\,W$

$P_T = (3)(395) = 1.2\,kW$ para el circuito trifásico.

Costos de operación:

Facturación eléctrica. Considerando una tarifa OM con un *precio medio* de la energía de *1.43 $/kWh* (estadísticas de venta 2006. www.cfe.gob.mx)

Operación de la carga:

$E = P\,x\,t \quad [kWh]$
$E = (100kW)(680h) = 68{,}000\ kWh\ al\ mes$

$\$\,energía = (68{,}000kWh)(1.43\$/kWh) = 97{,}240\ \$$

a) Pérdidas fp de 0.75

$E = (1.9kW)(680h) = 1{,}292\,kWh\ al\ mes$

Importe debido a pérdidas: $\$\,fp_{0.75} = (1{,}292)(1.43)\$ = 1{,}848\,\$\ mensual$

Bajo estas condiciones las pérdidas representan aproximadamente el 2% de la facturación:

Concepto	*Importe ($ mensuales)*	*%*
Carga	97,240	100
Pérdidas	1,848	1.90
Facturación estimada	*99,088*	---

b) Pérdidas fp de 0.95

De la misma forma tenemos:

$$E = (1.2kW)(680h) = 816\,kWh\ al\ mes$$

$$\$\,fp_{0.95} = (816)(1.43)\$ = 1{,}167\,\$\ mensual$$

Concepto	*Importe ($ anuales)*	*%*
Carga	97,240	100
Pérdidas	1,167	1.20
Facturación estimada	*98,407*	---

Beneficios

Reducción de perdidas de 1.9 a 1.2 kW (0.7kW equivalente a 36.8%)

$$\nabla\$_{eléctrico} = 8{,}168\ pesos\,al\ año$$

Ahora veremos que sucede con los parámetros eléctricos, obsérvese el renglón referente al transformador de alimentación.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros de la carga de 100 kW con los dos valores de factor de potencia y el caso unitario.

Parámetro	*f.p = 0.75*	*f.p = 0.95*	*f.p = 1*
Carga [Kw]	100	100	100
Corriente I_ϕ [A]	175	138	131
Pérdidas P_T [kW]	1.9	1.2	1.1
kVAR	88	33	0
kVA requeridos	133	105	100
Transformador [kVA]*	150	125	100
Consumo de kWh mes	69,292	68,816	68,727
$ Pérdidas mes	1,848	1,167	1,040
$ Importe eléctrico mes	99,088	98,407	98,280

***Transformador requerido para alimentar a la carga**
(Valores comerciales de transformadores)

Finalmente puede comentarse que alimentar una carga operando con fp bajo, requiere una mayor potencia aparente en kVA (véase punto 3.1)

Deficiente regulación de tensión. Un factor de potencia reducido ocasiona un abatimiento de la tensión de alimentación de las cargas eléctricas (motores, lámparas, etc.) que pueden experimentar una reducción sensible en su potencia de salida. Esta reducción de la tensión 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. Por ejemplo, ignorando el efecto térmico, si la corriente se duplica, la tensión se abate el doble, pero si la corriente se reduce 20% la caída decrece también 20%, es decir la caída de tensión varía en la misma forma en que varía la corriente.

Incremento en el pago de la facturación eléctrica. Un bajo factor de potencia significa energía desperdiciada y afecta la adecuada utilización del sistema eléctrico. Por esta razón en las tarifas eléctricas se ofrece una reducción en la factura eléctrica en instalaciones con un factor de potencia mayor al 90% y también se imponen cuotas a manera de multas si el factor de potencia es menor que la cifra señalada. En la tabla 3.2 se muestran las ecuaciones para calcular los porcentajes de bonificación y penalización, que por factor de potencia, se aplican a los cargos por consumo y demanda máxima de energía y que no excederán los porcentajes máximos que ahí se indican. En las ecuaciones el factor de potencia se expresa en porciento.

Factor de potencia	*Cargo*	*Ecuación*	*% máx. aplicable*
$fp < 90$	Penalización	$\frac{3}{5}\left[\frac{90}{fp} - 1\right] x100$	120
$fp \geq 90$	Bonificación	$\frac{1}{4}\left[1 - \frac{90}{fp}\right] x100$	2.5

Tabla 3.2. Ecuaciones aplicables para el cálculo del cargo por f.p

Ejemplo:

Calcular el cargo por penalización en el mes de marzo de 2007 por parte de la compañía suministradora a un usuario del servicio eléctrico en la región centro, por presentar un bajo factor de potencia en su instalación, de acuerdo a los siguientes datos de la facturación:

Tarifa contratada: OM
Demanda máxima. 53 kW
Consumo de energía: 17,280 kWh
Factor de potencia: 78.85 %

Solución

Cálculo del costo de la energía:

Corresponde a lo que se paga por concepto de energía y demanda.

$$\$_{energìa} = kWh\ x\ \$/kWh$$
$$\$_{demanda} = kW\ x\ \$/kW$$

De acuerdo a los precios publicados por CFE en su página de internet:

Cargo por energía: *$ 0.883 por cada kWh*
Cargo por demanda: $ 118.44 por cada kW

Sustituyendo en las expresiones anteriores:

$$\$_{energìa} = 17{,}280\ kWh\ x\ 0.883\ \$/kWh$$
$$= 15{,}258\ pesos$$
$$\$_{demanda} = 53\ kW\ x\ 118.44\ \$/kW$$
$$= 6{,}277\ pesos$$

Por lo tanto el costo de la energía es:

$$\$_{energìa\ y\ demanda} = 21{,}577\ pesos$$

<u>Cálculo del cargo por factor de potencia</u>

Debido a que el factor de potencia estuvo por debajo del 90% el cargo corresponde a una penalización y se aplica la fórmula correspondiente de la tabla 3.2

$$\%_{penalizaci\grave{o}n} = 3/5\left[\frac{90}{fp} - 1\right] x100$$

$$\Rightarrow \qquad \%_{penalizaci\grave{o}n} = 3/5\left[\frac{90}{78.85} - 1\right] x100 = 8.4845$$

Por lo que la penalización a pagar por presentar bajo factor de potencia es en este caso:

$$\$_{penalización\ fp} = \%_{penalización}\ x\ \$_{energía\ y\ demanda}$$
$$\$_{penalización\ fp} = 0.084845\ x\ 21{,}257$$
$$\$_{penalización\ fp} = 1{,}803.54\ pesos$$

3.4 Métodos de compensación

El primer paso es la prevención, un diseño adecuado en la operación de los equipos es en principio, la mejor forma de evitar que se presenten problemas con el factor de potencia, además de que actualmente las nuevas tecnologías de motores y balastros para lámparas, incorporan elementos para corregir el factor de potencia en el mismo equipo, sin embargo eso en muchos casos no es del todo suficiente, por lo que se hace necesario el uso de equipos adicionales para compensar el factor de potencia.

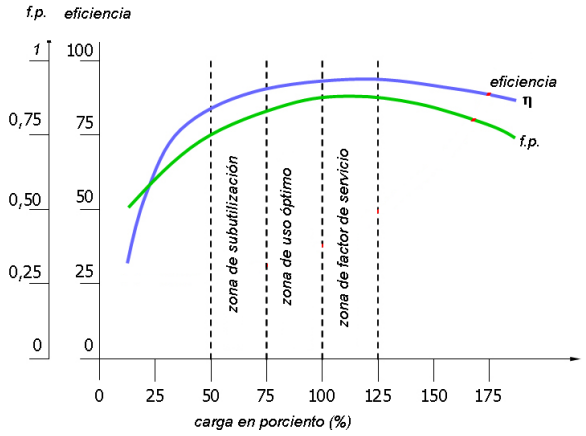
Por sus características de construcción operación y costo, los motores de inducción son los más utilizados en todo tipo de instalaciones, pero debido a su consumo de energía reactiva, son una de las causas principales del bajo factor de potencia. Un adecuado conocimiento de la operación de estos equipos no solo permite mejorar el factor de potencia en conjunto sino también optimiza la eficiencia de los motores con el consiguiente ahorro de energía.

Existen varios métodos para compensar el factor de potencia, pueden dividirse en dos tipos: mediante una adecuada utilización de los equipos y mediante la instalación de elementos de compensación.

A continuación se describen aspectos que relacionan el factor de potencia y la operación de motores y que evidentemente tienen que ver con la prevención por lo cual deben de ser considerados en el diseño, y operación de la instalaciones eléctricas.

***Selección correcta del tipo de motor*.** Los motores de alta velocidad y gran potencia proporcionan un mejor factor de potencia. Lo mismo ocurre con los motores trifásicos respecto a los monofásicos y con los motores abiertos en comparación de los cerrados.

***Aumento de la carga de la carga a su potencia nominal*.** Los motores operando a cargas bajas disminuyen su factor de potencia, por esto es importante adecuar la capacidad de los motores a sus cargas reales y evitar su operación prolongada en vacío. En la gráfica 3.2 se tiene una curva característica para un motor jaula de ardilla trifásico de 1800 rpm, como se puede ver el factor de potencia decrece sensiblemente para cargas por debajo del 75% de su potencia nominal.



Gráfica 3.2. Variación del factor de potencia con la carga en un motor de inducción

***Empleo de motores sìncronos*.** Cuando se requiere motores de gran potencia y baja velocidad, se recomienda analizar la conveniencia de instalar motores síncronos, estos compiten en costo con los motores de inducción y al operar sobreexcitados, contribuyen a mejorar el factor de potencia.

***Reparación correcta y de buena calidad de los motores*.** Una reparación deficiente, en muchos casos debido al empleo de materiales diferentes o de menor calidad que los de fábrica, puede provocar una disminución del factor de potencia en los motores, además que por cada *reembobinado* a un motor de inducción se estima que la eficiencia se ve reducida un 3% Se recomienda que la reparación la realice personal calificado y lo más apegado a las características origínales del fabricante e incluso que se lleve a cabo por éste.

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

a) **Motores síncronos.** Los motores síncronos al trabajar sobreexcitados, pueden proporcionar un trabajo mecánico, además de que tienen la característica de comportarse como una carga capacitiva, el inconveniente es que no se pueden aplicar a la mayoría de los procesos, por sus características especiales de operación, su costo es muy elevado lo mismo que su mantenimiento y no se puede tener un control efectivo del factor de potencia, su utilización no es viable técnica ni económicamente. Se llegan a justificar cuando se requieren motores nuevos y de tamaño considerable.

b) **Capacitores síncronos.** Un capacitor síncrono es un motor síncrono diseñado exclusivamente para la corrección del factor de potencia, son de gran tamaño y capaces de proporcionar potencia reactiva, tanto de índole capacitiva como inductiva. Sin embargo son equipos cuyo empleo implica una

fuerte inversión inicial y un mantenimiento costoso, por lo que solo se justifica para empresas de gran tamaño y donde se tengan problemas de regulación de tensión.

c) **Capacitores de potencia.** Son equipos que también proporcionan potencia reactiva capacitiva, pero debido a su bajo costo, fácil instalación, pérdidas muy bajas (del orden de 0.5 W por cada kVAR), poco mantenimiento y la versatilidad de combinaciones en las que se pueden ensamblar, hacen de este tipo de capacitores, la forma más práctica y económica para mejorar el factor de potencia.

3.5 Compensación mediante bancos de capacitores

La forma de corregir el factor de potencia es interconectando en los extremos de la carga a analizar (en paralelo), el elemento reactivo para llevar acabo la compensación. De acuerdo a la definición de factor de potencia e ilustrado con el triángulo de potencias, se desea minimizar el consumo de corriente inductiva o bien la demanda de potencia reactiva en kVAR, esto implica reducir el ángulo θ, de tal forma que la potencia aparente S sea igual a la potencia activa P.

Como se describió anteriormente los equipos de naturaleza capacitiva, toman una corriente en adelanto con respecto a la tensión, en el caso ideal a 90°, que se opone a la corriente inductiva de las cargas de una instalación, por lo que la potencia reactiva capacitiva kVARc, reduce el requerimiento de potencia de la carga $kVAR_L$ disminuyendo tanto el ángulo θ como la potencia aparente KVA (al igual que la corriente total I), como se ilustra en la siguiente figura:

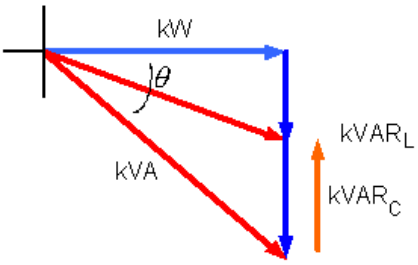


Figura 3.8 Efecto de la potencia reactiva capacitiva sobre la potencia de una carga predominantemente inductiva.

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

La forma técnica y económica más rentable es realizar la compensación mediante capacitores, la inversión inicial es rápidamente recuperable tan solo por los ahorros que se tendrían al evitar pagar la penalización por bajo factor de potencia.

Los capacitores se agrupan en unidades o bancos, fijos o automáticos y se instalan en paralelo con las cargas inductivas para compensar la potencia requerida por éstas. 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.

Es fácil de ver que lo más conveniente sería instalar estos equipos lo más cerca de la carga que presenta el problema del factor de potencia, ya que el beneficio es mayor porque la potencia reactiva es confinada en ese punto de la instalación. El caso ideal sería localizar los capacitores justo al lado de cada carga inductiva, pero debido al costo que esto representa, se opta por soluciones intermedias.

De acuerdo a las necesidades de potencia reactiva de la instalación, la compensación puede hacerse desde diferentes puntos que presenten mayores problemas de factor de potencia, de esta forma se identifican las diferentes formas de compensación:

***Compensación individual*.** De este modo se corrige el factor de potencia de un solo motor de inducción o una carga con bajo factor de potencia; conectando y desconectando los capacitores al mismo tiempo que los motores (ver figura 3.9), esta ubicación se justifica en motores de mediano y gran tamaño, de 30 hp en adelante ya que además de trabajar en forma semiautomática porque el capacitor se conecta directamente al arrancador del motor, no es necesario el uso de un interruptor para proteger al capacitor.

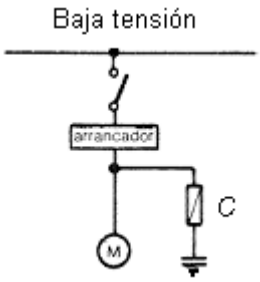


Figura 3.9 Instalación de capacitores en compensación individual

Compensación en grupo. Cuando se tienen varias cargas como motores y equipos de alumbrado de igual capacidad y ciclo de trabajo, en medida de lo posible, se pueden agrupar para compensar su potencia reactiva con un capacitor común, emplazado en un punto de distribución como un tablero, alimentador o centro de control de motores. El capacitor se calcula de gran tamaño para compensar varios motores o cargas pequeñas, los capacitores se conectan y desconectan del sistema según estén o no conectados los equipos. En este caso es recomendable instalar un banco automático de capacitores.

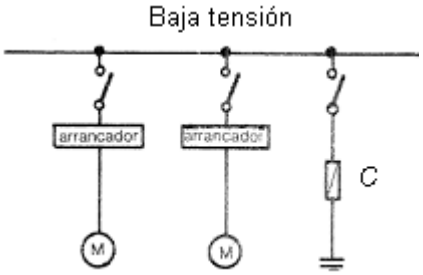


Figura 3.10 Instalación de capacitores en compensación en grupo

Compensación central. La potencia reactiva de un número de cargas de distintas capacidades y diferentes periodos de conexión, puede ser compensada con un banco único de capacitores generalmente instalado en la entrada de la instalación. La figura 3.11 ilustra este tipo de compensación en baja y alta tensión. Económicamente resulta más conveniente instalar capacitores en alta tensión, pero si 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.

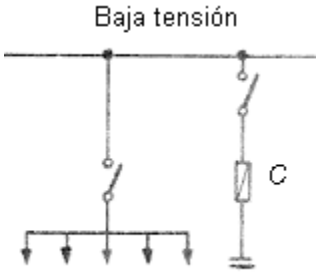


Figura 3.11 Instalación de capacitores en compensación central

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 las restantes, instalar bancos de capacitores para compensación en grupo o central.

3.6 Evaluación técnica del factor de potencia

Operar con bajo factor de potencia una instalación eléctrica, además del impacto en el pago de la facturación eléctrica, provoca una operación inapropiada e ineficiente de la instalación generando costos y afectando la vida útil de los equipos instalados, los cuales pueden minimizarse si se estudia y se emplea la mejor alternativa para mejorarlo.

Mediante un estudio de *primer nivel* o análisis de prefactibilidad técnica y económica, se puede evaluar los beneficios y la conveniencia de operar con un buen factor de potencia. De acuerdo a evaluaciones técnicas elaboradas por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, se ha demostrado que la instalación de bancos de capacitores para la compensación del factor de potencia es un proyecto rentable tan solo por los ahorros de evitar la penalización de presentar un bajo factor de potencia.

El objetivo de una evaluación del factor de potencia de este tipo, es determinar los potenciales de ahorro económico al aplicar medidas para corregir o mejorar el factor de potencia a valores superiores a 0.9, mediante la instalación de bancos de capacitores.

En el estudio aplicado se comprenden los siguientes aspectos:

- Evaluar el factor de potencia actual de la instalación
- Estimar los potenciales de ahorro y beneficios económicos por mejorar el factor de potencia actual
- Determinar la capacidad del banco de capacitores para mejorar el FP
- Estimar la inversión requerida para la adquisición de bancos de capacitores así como el tiempo de recuperación de la inversión

3.7 Aspectos de la metodología de análisis

A continuación se describe brevemente una metodología que debe seguir la elaboración de un análisis básico de factor de potencia:

1. **Información histórica.** Como punto de partida se requiere elaborar una tabla con información de las facturaciones eléctricas, se recomienda que sean datos de los últimos 12 meses, la información mínima requerida en esta primera etapa debe contener los siguientes datos:

a) *Mes de facturación.* Se anota el periodo de facturación del recibo de energía eléctrica y el mes correspondiente.
b) *Demanda máxima.* El valor máximo de la demanda en kW, registrado en el periodo.
c) *Consumo de energía.* Se registra el consumo de energía total en kWh en el mes de facturación.
d) *Factor de potencia.* Se anota el factor de potencia indicado en los recibos expresado en %
e) *Importe eléctrico.* Pago por concepto de energía y demanda en pesos, sin incluir cargos especiales como derecho de alumbrado público (DAP), cargos por factor de potencia e iva.

La información se consigna en un formato como el que se presenta en el anexo 6 “Formato para la evaluación del factor de potencia”

2. **Estudio del comportamiento histórico.** Se analiza el comportamiento del factor de potencia y se discute con los responsables de la operación de la instalación las posibles causas de variaciones significativas del factor de potencia entre periodos. Si es posible se recurre a los reportes de mantenimiento por operación de equipos y/o eventos importantes, además de considerar los horarios de uso de la instalación.

3. **Cálculo del equipo.** En un análisis de prefactibilidad técnica se puede proponer una compensación de tipo central con un banco fijo y trabajar con un factor de potencia medio. Como punto de partida se puede calcular con el valor de factor de potencia más bajo registrado y sus datos asociados del periodo, (demanda máxima y consumo de energía) la capacidad del banco de capacitores a instalar.

4. **Revisión del cálculo.** Se debe de verificar que la capacidad del banco propuesto en el punto anterior satisfaga la compensación del factor de potencia en cada uno de los otros periodos donde se registraron valores inferiores al límite, además se debe evitar la sobrecompensación en el resto de los periodos. En caso contrario se debe de realizar la corrección a un valor superior hasta que satisfaga al resto de los periodos.

5. **Análisis económico.** Una vez establecida la capacidad del banco se calcula un nuevo factor de potencia (corregido) promedio mensual, los ahorros por evitar la penalización y los beneficios por mantenerlo por arriba del límite, lo que da como resultado un beneficio económico total. Finalmente se estima la inversión total estimada por la instalación del banco que debe incluir materiales y mano de obra y se calcula el tiempo simple de recuperación de la inversión función directa del beneficio económico total.

3.8 Consideraciones y recomendaciones generales

Sin embargo aunque la evaluación descrita proporciona la plena factibilidad de instalar capacitores, se sugiere evaluar las condiciones particulares de cada instalación, al respecto la asistencia de profesionales capacitados con amplia experiencia comprobable es recomendable para tomar la decisión que reporte los mayores beneficios tanto técnicos como económicos.

En un estudio más detallado y recomendable, es importante que se revisen las siguientes recomendaciones las cuales se presentan a manera de guía:

Sobre el factor de potencia

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 de 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 esté sujeta a grandes variaciones durante las horas de trabajo, se puede considerar un factor de potencia promedio (valor que aparece en el recibo)

Localización de capacitores

Se debe evaluar la mejor opción para la instalación de los capacitores, analizando las ventajas e inconvenientes, de acuerdo a las características de la carga.

Cuando se elija la opción de compensación individual en motores, debe de tenerse cuidado de no sobrecompensar al motor, debido a que los capacitores se conectan directamente al arrancador del motor, estos sólo estarán en servicio al operar el motor, sin embargo, al interrumpirse la alimentación, como quedan los capacitores directamente conectados a las terminales de los motores, es importante que los kVAR no excedan de los necesarios y se tenga un factor de potencia capacitivo, que ocasionaría sobretensiones provocando daños al aislamiento de los motores y anomalías en el par mecánico. Una regla práctica es la de que los kVAR en capacitores no excedan en magnitud la de los kVA que toman los motores cuando trabajan sin carga. Para determinar el capacitor adecuado, es recomendable hacer mediciones de factor de potencia en el motor.

En la siguiente tabla se da una orientación de la potencia de los capacitores para motores trifásicos de inducción, en función de la potencia y de la velocidad síncrona.

Potencia del motor en hp	*@3600 rpm*	*@1800 rpm*	*@1200 rpm*	*@900 rpm*
10	4	4	5	6
15	5	5	6	7.5
20	6	6	7.5	9
25	7.5	7.5	8	10
30	8	8	10	14
40	12	13	16	18
50	15	18	20	22.5
60	18	21	22.5	26
75	20	23	25	28
100	22.5	30	30	35
125	25	36	35	42
150	30	42	40	52.5
200	35	50	50	65

Tabla 3.3 Capacidad recomendada de capacitores para motores Nema Tipo B , totalmente cerrados con ventilación, de acuerdo a la norma IEEE-141, el valor del factor de potencia alcanzado es de aprox. 95%, se debe tomar el capacitor de valor comercial inmediato inferior (Valores en kVAR)

Cuando sea más conveniente una compensación de tipo central, se recomienda revisar que la potencia de los capacitores no exceda el 10% de la capacidad del transformador, con los que se evitan problemas de resonancia y se reducen las pérdidas cuando trabaja en vacío. En la tabla 3.4 se presenta 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 tensión de línea

Potencia del transformador kVA	*5/13 kV*	*15/23 kV*	*25/34 kV*
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

Tabla 3.4 Referencia de la magnitud de potencia en capacitores en función de la potencia nominal de los transformadores y la tensión de línea (Valores en kVAR)

Transformadores de distribución

Los transformadores no se consideran como carga eléctrica, pero contribuyen a bajar el factor de potencia del sistema.

La corriente de excitación del transformador (la cual es independiente de la carga), así como la reactancia de dispersión, consumen KVAR, los cuales por regla general se compensan al instalar capacitores en el primario del transformador con un valor máximo del 10% de su capacidad nominal. El valor exacto de la potencia reactiva (KVAR) necesaria es posible determinarla conociendo la impedancia del transformador, el compensar el transformador con una capacidad superior al 10% puede ocasionar sobretensiones para los dos equipos. Cuando no hay carga el valor de esta tensión se obtiene como:

$$\%\nabla T = \frac{KVAR_{cap}\%z}{KVA_{transf}}$$

Ejemplo:

Un transformador de 500 KVA tiene una impedancia de 5.5%, se emplea un banco de capacitores de 200 KVAR. Calcular la elevación porcentual de tensión.

Solución.

Con todos los datos se sustituye en: $\%\nabla T = \frac{KVAR_{cap}\%z}{KVA_{transf}}$

$$\%\nabla T = \frac{(200)(5.5)}{500} = 2.2\%$$

Instalación de los bancos

Los capacitores deben instalarse de la manera más adecuada posible, es decir, con los accesorios correctos, así como en lugares apropiados. En general, los capacitores existentes en el mercado para baja tensión, son en su mayoría para servicio interior (Nema 1) por lo que nunca deben de instalarse a la intemperie o en lugares donde puedan ser expuestos a líquidos, aceites, etc. Sin embargo ya existen en forma estándar capacitores Nema 3R, donde no se tiene problemas de aplicación. En cuanto a la instalación se debe consultar lo especificado en la Norma Oficial Mexicana de instalaciones eléctricas *NOM-001-SEDE "Instalaciones Eléctricas (utilización)"*. A continuación se enlistan algunos puntos de la norma y otros que deben tomarse en cuenta para el mejor desempeño de los equipos.

a) **Conductores.** El capacitor debe siempre protegerse con un medio de desconexión adecuado ya sea interruptor termomagnético o interruptor con fusibles. Cuando sea interruptor termomagnético este debe de elegirse no menor de 1.35 veces la corriente nominal del capacitor, cuando se utilice interruptor de fusibles el factor a considerar es 1.65 veces como mínimo. Para el caso del cable alimentador, este debe ser del calibre mínimo de 1.35 veces la corriente del capacitor. Debe de tenerse en cuenta que el capacitor es muy delicado por lo que deben conectarse los cables a sus bornes con las terminales adecuadas, ya sean mecánicas o tipo compresión, para en lo mínimo evitar puntos calientes.

b) **Ventilación y temperatura.** Los capacitores deberán instalarse en áreas donde la temperatura ambiente no exceda 40 C y exista ventilación adecuada. Los capacitores siempre operan en plena carga y generan calor por propia operación, se les debe proporcionar por lo tanto, la manera de disipar calor, a través de un buena ventilación, se recomienda que los capacitores se instalen a 5 cm de la pared como mínimo y de preferencia separados esta misma distancia del piso y entre ellos cuando se colocan en grupo.

c) **Tensión de operación.** Cuando la tensión de operación excede el 10% de la tensión nominal del capacitor, este puede sobrecalentarse y dañarse, por lo que antes de instalar un capacitor es necesario que la tensión de la instalación sea la nominal del capacitor.

d) **Tipos de capacitores.** Utilizar bancos automáticos, los cuales están diseñados para conectar y desconectar parte de su capacidad de acuerdo con los requerimientos de la carga, por lo que no se caen en sobrecompensaciones. Se recomiendan cuando la demanda de reactivos presenta variaciones, que dependen de los equipos instalados y de sus ciclos de trabajo, como hornos, equipos de laminación, sistemas de refrigeración, etc.

Presencia de armónicas

Se debe realizar un estudio de calidad de la energía y evaluar la cantidad de armónicas presentes en la instalación. En caso de detectar armónicas, el método para la compensación del factor de potencia es primero reducirlas para evitar problemas de resonancia en el transformador y luego proceder a instalar los capacitores. Las armónicas que deben evaluarse son las de corriente es decir la THD_I (distorsión armónica total por sus siglas en inglés), pues el factor de potencia también se ve afectado por la presencia de armónicas, según la siguiente relación:

$$fp_{true} = k\ fp$$

Donde:

fp_{true} Es el factor de potencia *verdadero* en presencia de armónicas

k Es una constante que depende de la distorsión armónica total en corriente THD_I

$$k = \sqrt{\frac{1}{1+THD_I^{\ 2}}}$$

fp Es el factor de potencia sin armónicas

Ejemplo:

Evaluar el comportamiento del factor de potencia cuando se tienen armónicas en corriente de 30% si el factor de potencia original es de 90%

Solución

Datos:

$fp = 0.9$

$\%THD_I = 30$

de la ecuación: $fp_{true} = k\ fp$ y $k = \sqrt{\frac{1}{1+THD_I^{\ 2}}}$ tenemos:

$k = \sqrt{\frac{1}{1+0.3^2}}$ = 0.958

$fp_{true} = 0.958\ (0.9) = 0.8622$

por lo que para una $THD_I = 30\%$ el factor de potencia se reduce a 0.8622

Para otros valores de THD_I se puede ver la afectación del fp en la siguiente tabla:

THD_I %	k	fp_{true}
30	0.958	0.8622
70	0.819	0.7371
100	0.7071	0.636
133	0.60	0.54

4. Control de la demanda

El que cada vez más usuarios estén en un régimen de tarifas horarias representa retos y oportunidades mayores para el uso racional de la electricidad. En este sentido se pueden identificar dos conjuntos de oportunidades de acción e inversión de los usuarios, esto es el autoabastecimiento (generación de electricidad) y el manejo por el lado de la demanda.

Autoabastecimiento de electricidad

El autoabastecimiento de electricidad que está permitido por la legislación mexicana desde 1992, es una alternativa en la medida en que la generación unitaria (kWh) sea más barata que lo que se paga en horas “de punta” y que esta lo sea cuando la rentabilidad se da operando los sistemas de autoabastecimiento, el número de horas en los que se está en ese régimen a lo largo del año. Se podría decir que si el costo del kWh autoabastecido es igual o menor a lo que se cobra en horas “intermedias” es muy posible que sea una extraordinaria oportunidad para lograr economías en la operación de la empresa.

Entre las tecnologías que pueden ser usadas en la actualidad para el autoabastecimiento están las que funcionan a partir de combustibles fósiles como diesel, gas natural y gas LP. En este sentido resalta la cogeneración, que se puede definir como la producción conjunta de calor de proceso y electricidad y que, para instalaciones que requieren calor de proceso (ya sea por el calor o como antecedente a la producción de frío), puede ser una interesante alternativa.

También es posible utilizar energías renovables en forma de viento, radiación solar, biomasa y/o caídas de agua. En este sentido las posibilidades dependerán de la disponibilidad de los energéticos referidos, del tamaño del sistema de generación y, en su caso, de la capacidad y posibilidad de vender a terceros los posibles excedentes.

Ahorro, uso eficiente y/o manejo de la demanda de energía eléctrica

Otras oportunidades que seguramente representan menores inversiones y posiblemente, mejores rentabilidades que el autoabastecimiento, se encuentran en medidas que operan del lado de la demanda de electricidad. Bajo este esquema podemos ubicar tres categorías de medidas, aplicable a materiales, equipos y sistemas.

- ***Materiales aislantes***

El uso de materiales aislantes está considerado fundamentalmente como una medida de ahorro ya que reduce los períodos de uso de los sistemas de refrigeración y/o aire acondicionado.

Como es sabido, la carga térmica a la que está sujeta una instalación depende de variables internas y externas. Entre las variables internas se encuentran las cargas térmicas que emiten personas y equipos. Las cargas externas provienen de tres procesos: radiación (exposición directa al sol), conducción (por diferencia de temperaturas entre la periferia exterior de la envolvente de la instalación y la de su interior) e infiltración (por la penetración de aire exterior caliente a través de ranuras en la envolvente). Para evitar estas cargas externas es recomendable el uso de materiales ya sea reflejantes y/o aislantes térmicos.

- ***Equipos***

El hacer uso de equipos *eficientes* permite tener una menor carga instalada y registrar así una demanda menor comparada con el uso de equipos convencionales, lo que permite reducir la facturación eléctrica. En particular, por representar la mayor parte del consumo eléctrico de una instalación, identificamos a tres tipos de equipos: iluminación, motores y los usados para acondicionamiento y refrigeración.

a) Iluminación

En los equipos de iluminación es donde generalmente se tienen las mayores oportunidades de incrementar la eficiencia por el uso de equipos ahorradores, la tecnología del mercado actualmente permite tener el mismo nivel de servicio hasta por un 25% del consumo de energía que los sistemas convencionales más comunes.

Igualmente, y dado que muchas instalaciones bajo tarifas horarias no son precisamente de uso industrial sino de uso comercial y de servicios, un alto porcentaje de la electricidad es utilizada para iluminación de espacios interiores. Finalmente y dado que la iluminación es utilizada en horas “de punta” en casi todas las regiones del país, el uso eficiente de la electricidad en este uso final puede tener un impacto en la facturación de la energía utilizada a esas horas.

b) Motores

Los motores utilizan la mayor parte de la energía en actividades industriales, en particular porque generalmente son los equipos más grandes y porque son utilizados por muchas horas al día a lo largo de todo el año.

En este sentido es claro que la sustitución de estos equipos puede representar ahorros importantes, especialmente porque en México este tipo de equipos ha

aumentado su eficiencia en un porcentaje significativo por la entrada en vigor de Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética (NOM-ENER) para motores eléctricos. Además, como ocurre para los equipos de iluminación, existen incentivos de parte del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (Fide) para la compra de motores de alta eficiencia.

c) Aire acondicionado y refrigeración

Al igual que la iluminación, aunque más bien para algunas regiones en todo el año o parte de él, el uso de aire acondicionado coincide con las horas "de punta". Esta situación es de especial importancia en las regiones del norte de México en donde el uso de la refrigeración y el aire acondicionado representa la componente dominante en la demanda del sistema eléctrico. Por lo tanto, cualquier medida que se oriente a mejorar la eficiencia de los equipos de enfriamiento tiene un impacto mayor que otras medidas en la facturación.

Cabe anotar que para un mayor impacto en las medidas orientadas al ahorro y uso más eficiente de la electricidad en el aire acondicionado, es necesario identificar no solo las oportunidades en los equipos sino también en los elementos de la envolvente y de equipos de control de los sistemas. Igualmente, hay que señalar que para este tipo de equipos existen ya normas de eficiencia energética y programas de apoyo de parte del Fide.

- ***Sistemas***

Para propósitos de reducción de costos por cargos en demanda de "punta" existen un conjunto de sistemas que permiten modificar el perfil de las cargas en una instalación a lo largo del día. En particular, los sistemas de control de la demanda y los de almacenamiento de frío son los más recomendados.

a) Control de la demanda eléctrica

Un sistema de control de la demanda eléctrica permite manejar la operación de un conjunto amplio de equipos de manera que en las horas "punta" se utilice la menor cantidad de energía posible y así reducir la facturación.

Los sistemas de control de la demanda se componen de varios elementos: Sensores que registran si un aparato está encendido o apagado o si se encuentra en un régimen de operación cuando existen más de dos opciones; un sistema de comunicación que permite intercambiar señales *hacia* y *desde* un punto central; un microprocesador (o computadora) que recibe las señales, procesa la información y envía señales a los equipos para que actúen de acuerdo a un programa preestablecido; y un conjunto de actuadores, que operan los equipos de acuerdo a las señales enviadas.

Estos sistemas pueden ser relativamente sencillos o sumamente sofisticados, lo cual depende del número y variedad de las cargas y de la precisión requerida para que los equipos funcionen de acuerdo a la programación establecida.

b) Almacenamiento de frío

Los sistemas de aire acondicionado se componen de dos partes fundamentales: *generación de frío y distribución del frío* (ya sea por medio de aire, agua o algún líquido especial). Los sistemas de almacenamiento de frío operan utilizando los sistemas de generación de frío durante las horas fuera de "punta" para congelar pequeños recipientes de plástico con un fluido de fácil congelamiento, los cuales están ubicados en un contenedor aislado térmicamente. Cuando llega la demanda de enfriamiento en el espacio, el sistema solo opera los sistemas de distribución de los fluidos fríos hacia el espacio a acondicionar.

En regiones donde el horario de uso del aire acondicionado coincide claramente con las horas en "punta" estos sistemas son una alternativa que debe considerarse seriamente.

4.1 Tarifas eléctricas

Una tarifa es el precio que el usuario paga por el servicio eléctrico, su finalidad es asegurar que los ingresos propios de las empresas suministradoras sean suficientes para cubrir el crecimiento de la demanda interna con la calidad, oportunidad y suficiencia que requiere el desarrollo de un país.

El costo del servicio consiste en que a cada usuario se le debe cobrar la electricidad consumida de acuerdo con el costo en que se incurre para suministrarla. El cobro no se efectúa individualmente debido a las dificultades de separar los distintos costos. La metodología que aplica actualmente consiste en utilizar la misma estructura tarifaría a un conjunto de consumidores afines de acuerdo a una serie de parámetros.

Así, la estructura tarifaría esta determinada por:

- Uso de la energía
- La tensión de suministro
- Los tipos de medición
- Los patrones de consumo de los distintos segmentos de usuarios

La existencia de tarifas diferenciadas por tipo de usuario, región y estación del año se debe a que los costos de suministro varían de acuerdo a la tensión, la distancia entre el centro de producción y consumo, horario de demanda (punta, intermedia o base) y la congestión de la red de transmisión y distribución, entre otros factores.

Estructura tarifaria

La fijación de las tarifas eléctricas es un importante mecanismo para la formulación de la política energética de un país. Por ello, las compañías suministradoras han venido trabajando en una estructura tarifaria que envíe señales apropiadas de eficiencia económica y al mismo tiempo promueva el uso eficiente de la energía eléctrica sin afectar a las familias de menores ingresos, además de permitir una mejor administración de la demanda de electricidad. En nuestro país para 1988, se tenían 13 tarifas; actualmente, la estructura tarifaria integra 36 modalidades diferentes y son agrupadas por sector (tabla 4.1):

Domésticas	1, 1A , 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y DAC
Servicios públicos	5, 5A y 6
Agrícolas	9, 9M, 9CU y 9N
Servicio temporal	7
Generales en baja tensión	2 y 3
Generales en media tensión	OM, HM y HMC
Generales en alta tensión	HS, HSL, HT y HTL
Respaldo en media tensión	HM-R, HM-RF y HM-RM
Respaldo en alta tensión	HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF y HT-RM
Servicio ininterrumpible	I15, I30

Tabla 4.1 Clasificación de las tarifas según su uso y tensión de suministro

Las tarifas de media y alta tensión, tanto las de uso general como las de respaldo, se basan en costos marginales por lo que sus estructuras son más complejas y tienen cargos fijos por energía y demanda con diferencias regionales, horarias y estacionales. Las demás tarifas tienen estructuras más sencillas, sin diferencias horarias.

Para fines estadísticos, se considera que el sector comercial está constituido por los clientes de las tarifas generales de baja tensión y la tarifa 7, de la misma manera se consideran en el sector industrial los clientes de las tarifas generales y de respaldo, tanto de media como de alta tensión.

Tarifas horarias

En respuesta a las presiones de crecimiento de la demanda eléctrica y sin grandes recursos de inversión, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) a través de la subdirección de Programación, diseñó las tarifas horarias que dan señales

económicas claras a los usuarios (principalmente industriales) para hacer un uso más racional de la electricidad.

Primero en el contexto de un programa piloto, pero ahora como una norma, las tarifas horarias reflejan los costos que para la CFE representa el proveer electricidad en horas pico (que es la hora en la cual CFE tiene que tener el mayor número de plantas en operación). Con su implantación, las tarifas horarias son mas baratas para grandes consumidores en horas de uso de baja demanda y por otro lado, no lo son para las horas en las que CFE tiene que poner a operar sus equipos más caros.

En el Diario Oficial de la Federación del 10 de noviembre de 1991 se publicó un nuevo esquema tarifario con el objeto de aplicar tarifas horarias y extender los beneficios derivados de la aplicación de cuotas horarias, cuyo uso propicia una utilización más eficiente de las instalaciones eléctricas, permitiendo ventajas recíprocas para el usuario y el suministrador, así como beneficios para el país.

Para la mediana industria operan actualmente básicamente dos tarifas, la llamada OM y la llamada HM. Estas tarifas se distinguen porqué la última es de carácter horario, es decir, se cobra en función fundamentalmente de la hora del día en que ocurre el consumo, como se mencionó esta estructura está en funcionamiento desde 1992 cuando aparecen las tarifas horarias.

- ***Tarifa horaria en media tensión (HM)***

La tarifa horaria HM aplica para el conjunto de usuarios que estando en media tensión, superan el valor de 100 kW de demanda. A diferencia de la tarifa OM, (ordinaria en media tensón para demanda menor de 100 kW) los cargos por energía en HM se hacen según las horas de ocurrencia del consumo, las cuales se han clasificado en *"base", "intermedia" y "punta"*; por otro lado, el cobro por demanda se hace bajo el concepto de *"demanda facturable"*, la cual es función de las demandas máximas registradas en los períodos referidos.

Para establecer la facturación en tarifa HM, y al igual que en la tarifa OM, el país ha sido dividido en ocho regiones (ver anexo 7. "Regiones tarifarias CFE") Cada región tiene cargos distintos por energía y demanda. Igualmente, cada región tiene formas de aplicación temporal distintas y estas se definen para dos períodos que pueden clasificarse en verano e invierno. A su vez, para cada uno de estos dos períodos, se definen las horas del día a las que corresponden los períodos *base*, *intermedia* y *punta*. Estos valores, cabe señalarlo, varían si el día es hábil (lunes a viernes), sábado, domingo o festivo.

Para junio de 2007 (tabla 4.2), los cargos por demanda facturable estaban en el rango comprendido entre 116 $/kW (región noreste) y 182 $/kW (región Baja California). A su vez, los cargos por energía variaban de la siguiente manera: Para base, entre 0.5408 $/kWh (Baja California) y 0.6762 $/kWh (Baja California Sur); para intermedia entre 0.6883 $/kWh (Baja California) y 0.9554 $/kWh (Baja

California Sur); y para punta entre 1.9956 $/kWh (Baja California Sur) y 2.4873 $/kWh (Baja California).

Región	*Cargo por kW de demanda facturable*	*Cargo por kWh de energía de punta*	*Cargo por kWh de energía intermedia*	*Cargo por kWh de energía de base*
Baja California	$182.00	$2.4873	$0.6883	$0.5408
Baja California Sur	$174.92	$1.9956	$0.9554	$0.6762
Central	$126.15	$2.3839	$0.7625	$0.6371
Noreste	$116.00	$2.2018	$0.7079	$0.5800
Noroeste	$118.45	$2.2146	$0.7026	$0.5888
Norte	$116.55	$2.2177	$0.7148	$0.5816
Peninsular	$130.34	$2.3322	$0.7162	$0.5900
Sur	$126.15	$2.3347	$0.7288	$0.6060

Tabla 4.2. Tarifa HM, cuotas aplicables en el mes de junio de 2007
Fuente: www.cfe.gob.mx

Las horas de aplicación de los cargos varían de región en región. En particular, las horas de aplicación del cobro por energía en horas “punta”, varía notablemente, mientras que para la región Baja California Sur durante el verano se tienen períodos de hasta 10 horas por día “en punta”, durante el período de invierno la región Baja California y Baja California Sur no tienen cobro por ese concepto. Esta situación es radicalmente distinta para el resto del país, donde en el verano se tienen dos horas de “punta”, mientras que en el invierno estas aumentan a cuatro. (anexo 8. “Tarifa HM: Periodos de punta, intermedio y base”)

De los costos de energía por periodo, resalta claramente el hecho de que la energía consumida en “punta” cuesta hasta 3.6 veces más que la de “intermedia” y 4.6 veces más que en “base”. Es, precisamente, este alto costo de la energía en punta que, reflejando el costo real, permite que muchas medidas para el uso racional de la energía sean rentables.

4.2 Conceptos básicos de la facturación eléctrica para tarifas horarias

Dentro de los recibos de la facturación eléctrica en las tarifas horarias, existen algunos conceptos que el usuario debe conocer a efecto de entender y aplicar las alternativas que ofrecen este tipo de tarifas.

Demanda facturable

El desconocimiento asociado al cargo por demanda máxima, produce que se asuma que el cargo está basado en un pico instantáneo de demanda. No lo es, en su lugar el pico de demanda es promediado o integrado sobre un periodo prefijado de 15 minutos rolados. La demanda facturable es la demanda utilizada para establecer la factura de energía eléctrica, para el caso de las tarifas horarias, esta

demanda se define través de la relación de demandas máximas en los diferentes horarios durante el periodo de facturación.

Para la tarifa HM la demanda facturable se establece de acuerdo a la siguiente expresión para todas las regiones definidas:

$$DF = DP + FRI\ x\,máx\,(DI - DP) + FRB\ x\,máx\,(DB - DPI)$$

Donde:

DF	Demanda facturable
DP	Demanda máxima medida en el periodo de punta
DI	Demanda máxima medida en el periodo intermedio
DB	Demanda máxima medida en el periodo de base
DPI	Demanda máxima medida en los periodo de punta e intermedio
Máx	Significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor cero.
*FRI y FRB***.**	Son factores de reducción, los cuales dependerán de la tarifa y región a la que se haga referencia.

Consumo de energía (kWh)

El consumo es el producto de la demanda por el tiempo que se tiene conectada esa carga a la línea de energía, en otras palabras es la energía consumida, comúnmente se mide en kWh (kilowatts-hora).

Para el caso de las tarifas horarias se presentan los siguientes periodos de consumo:

i) *Consumo base*: Es la energía consumida durante el periodo base
ii) *Consumo intermedio*: Es la energía consumida durante el periodo intermedio
iii) *Consumo semipunta*: Es la energía consumida durante el periodo semipunta
iv) *Consumo punta*: Es la energía consumida durante el periodo punta.

Factor de carga

Es un indicador de la forma en que se usa la energía eléctrica en una instalación, y se puede interpretar como una medida de aprovechamiento de la energía consumida con relación a la demanda máxima.

El factor de carga (FC) también se define como la razón de la demanda promedio a la demanda máxima, o bién, la razón entre el consumo eléctrico de un período y el producto de la demanda máxima medida por el número de horas del período de facturación.

Este parámetro es útil para evaluar la oportunidad de mejorar la utilización de la energía eléctrica y se calcula como sigue:

$$FC = \frac{Demanda\ media\ (kW)}{Demanda\ máxima\ (kW)} \times 100 \quad [\%]$$

También se puede calcular de la siguiente forma con base a los valores registrados en la facturación de energía eléctrica

$$FC = \frac{Consumo\ de\ energía\ del\ periodo\ de\ facturación\ (kWh)}{Demanda\ máxima\ (kW) \times horas\ del\ periodo\ de\ facturación\ (h)} \times 100 \quad [\%]$$

El factor de carga relaciona la energía que se utiliza durante un período de facturación con respecto a la energía que el suministrador debe proporcionar a razón de la demanda máxima medida durante ese mismo período.

Para apreciar en forma práctica lo que representa el factor de carga, se presenta el siguiente ejemplo.

Ejemplo

Se tienen dos industrias de las mismas características, cuya contrato esta realizado en tarifa OM con una factor de potencia de 95%.

a) La industria No. 1 demanda 72 kW y consume en un período mensual 30,200 kWh. Esta industria labora 14 horas al día.
b) La industria No. 2 en el mismo período de facturación, tiene una demanda de 42 kW y consume 30,200 kWh. Esta industria labora las 24 horas del día.

Considerar el contrato en la región central del país para ambas industrias, y el mes de mayo de 2007 para cálculos, con un cargo por demanda de $121.80 y cargo por consumo de $0.907. Calcular la facturación eléctrica, el factor de carga y realizar un cuadro comparativo.
Solución

Industria No 1		
Cargo por demanda	121.80 x 72	$ 8,770
Cargo por consumo	0.907 x 30,200	$ 27,391
Importe facturado		$ 36,161

De la definición del factor de carga:

$$FC = \frac{Demanda\ \ media}{Demanda\ \ máxima} = \frac{30{,}200\,kWh}{(72\,kW)(720\,hrs)} = 0.5826$$

Industria No 2		
Cargo por demanda	121.80 x 42	$ 5,116
Cargo por consumo	0.907 x 30,200	$ 27,391
Importe facturado		$ 32,507

$$FC = \frac{Demanda\ \ media}{Demanda\ \ máxima} = \frac{30{,}200\,kWh}{(42kW)(720\,hrs)} = 0.9987$$

Instalación	Facturación ($)	Factor de carga	Precio medio ($/kWh)
Industria 1	$ 36,161	58%	1.20
Industria 2	$ 32,507	100%	1.08

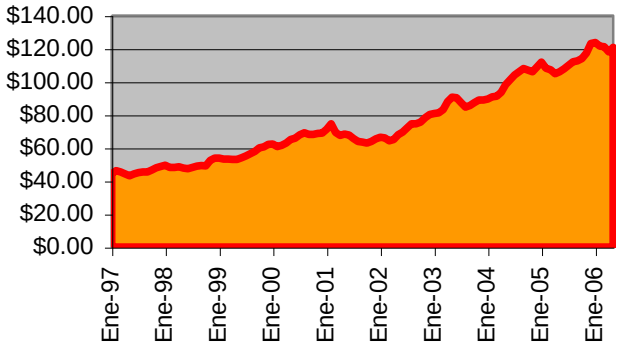
Como se observa, a mayor factor de carga el costo por kWh es menor, la demanda máxima requerida es 42% menor, el consumo de energía es el mismo en los dos casos, lo que sugiere una modificación del factor de carga a partir de una reducción o control de la demanda.

4.3 Conceptos básicos del control de la demanda

La energía eléctrica es un insumo indispensable para toda empresa moderna, hasta noviembre de 1994 su impacto económico paso desapercibido para muchas industrias. No obstante, a partir de entonces y como consecuencia de la crisis económica y la competitividad internacional, la Comisión Federal de Electricidad y la empresa de Luz y Fuerza del Centro se han visto en la obligación de repercutir al consumidor en forma más realista cada día sus costos de generación, transmisión, distribución y venta.

El incremento en la energía eléctrica ha sido tan significativo que cualquier industria en condiciones de producción semejantes a las de 1994, en agosto de 2004 pagaría hasta un 350% más que en ese entonces

En la gráfica 4.1 se representa la evolución de enero de 1997 a enero de 2006 del costo unitario de la potencia eléctrica (kW), un comportamiento semejante se observa en el costo de la energía (kWh)



Gráfica 4.1 Comportamiento del costo por cada kW de demanda en los últimos diez años, (tarifa HM región central)
Fuente: CFE www.cfe.gob.mx

En términos generales el controlar la demanda es la acción de interrumpir por intervalos de tiempo la operación de ciertas cargas eléctricas (iluminación, motores, etc.) que inciden directamente sobre la demanda máxima facturable, a fin de reducir o limitar los niveles de consumo en razón de los precios tarifarios.

El control de la demanda eléctrica puede ser una oportunidad de ahorro económico muy rentable ya que actualmente el cargo por demanda representa, entre un 20 a un 30% de la facturación eléctrica, además el ahorro no será tan solo por la reducción en el cargo en la demanda, sino que también en los cargos por consumo en el horario punta.

No obstante, es importante señalar que el control de demanda es una de las oportunidades de ahorro económico que más atención, tiempo y comprensión del proceso productivo requiere, dado que para que esta oportunidad sea factible, es indispensable que no afecte al proceso, requiriendo para esto adecuar las rutinas de operación e identificar los usos inadecuados de los equipos.

En México existen instituciones, como el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (Fide), que promueven ampliamente la aplicación de sistemas de control de la demanda, donde se han logrado obtener experiencias exitosas en las siguientes ramas industriales:

- **Industria Siderúrgica.** En la mayoría de estas empresas aplica un programa de control de demanda. Los ahorros que se han tenido en esta rama son muy importantes y el impacto sobre la producción es prácticamente nulo.

.

- **Industria Minera.** En estas empresas se han aplicado programas de control manual de la demanda, por lo que no han sido necesarias grandes inversiones y se ha reducido en forma importante el monto de la facturación eléctrica.

- **Industria Alimenticia.** En esta rama industrial se controlan principalmente los motores de los compresores de refrigeración y se ha reducido considerablemente la facturación eléctrica.

- **Industria Maquiladora.** En las empresas de la industria maquiladora, las cargas por aire acondicionado y hornos de resistencias suelen ser las más importantes y han aplicado equipos de control de demanda basados en la operación de estos equipos.

Aunque en la mayoría de las instalaciones industriales y comerciales que se encuentran contratadas en alguna tarifa horaria, se tienen ejemplos claros de la rentabilidad de los programas de control de la demanda, es conveniente mencionar que no es una receta de cocina, pues desafortunadamente los sistemas consumidores de energía nunca operan de la misma manera y las variaciones en el consumo de energía son inevitables. Similarmente, las empresas y los equipos no pueden funcionar siempre de la misma forma y el consumo de energía será afectado por las variaciones en el funcionamiento. Por esta razón, los programas de control de la demanda se tienen que desarrollar internamente en cada empresa a lo largo de cierto período de tiempo, usando como información una gran base de datos.

La tecnología de los equipos de control de la demanda eléctrica continúa avanzando, estos equipos cada vez son más económicos y versátiles, sin embargo su penetración en el mercado mexicano no ha sido tan exitosa como se esperaba debido a algunos de los siguientes factores: desconocimiento del concepto de demanda facturable y demanda eléctrica máxima, temor a pérdidas en la producción, desconocimiento de los horarios, tarifarios y por ello de los beneficios económicos que pueden lograrse.

4.4 Estrategias y métodos de control

Un programa de control de la demanda eléctrica puede aplicarse en aquellas instalaciones cuya operación tiene fuertes variaciones en la demanda máxima y bajos factores de carga, como son empresas relacionadas con la fundición, minería, automotriz, maquiladora, papeleras, etc. Por otro lado, es más complejo, aplicar un programa en industrias, tiendas comerciales, edificios de oficinas, etc., en los cuales la demanda es prácticamente constante y el factor de carga es alto.
Para instalar un equipo para controlar la demanda eléctrica, es necesario tener un amplio conocimiento del proceso productivo en cuestión, para asignar correctamente las prioridades de desconexión y reconexión, así como la duración de cada desconexión de los principales equipos.

Sistemas de calefacción, aire acondicionado, iluminación, motores, y otros sistemas de cargas no necesarias pueden ser desconectadas parcialmente, o bien pueden ser desconectados unos cuantos minutos en el periodo dónde ocurre la

demanda pico. Por tanto, se deben considerar los siguientes puntos para llevar a cabo un control de los equipos:

- Tiempos y horarios de operación y desconexión
- Horario de verano y fuera de verano
- Días festivos
- Monitoreo de la demanda

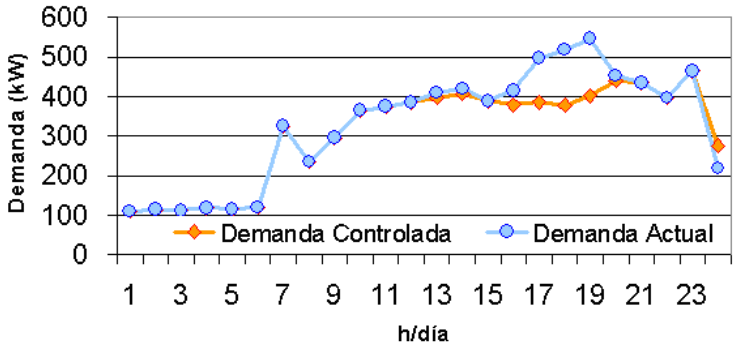
La acción de encendido y apagado de los equipos pueden realizarse a través de mecanismos muy simples como un temporizador (timmer) conectado al interruptor de la carga, o por medio de señales enviadas por un sistema de control automático.

Para poder establecer un programa que limite la demanda máxima es necesario identificar las cargas que generan dichos picos de demanda, así mismo, determinar el tiempo y el horario en que ocurren los picos de demanda. El siguiente paso es elegir una de las dos posibles estrategias de control de la demanda o en su caso una mezcla de ambas: restringir la carga en el horario punta o bien transferir carga a otro horario.

Restricción de la carga en el horario punta

Esta estrategia se basa en limitar la carga critica en funcionamiento en el horario punta, con el objetivo de reducir el valor de demanda máxima, además, esta estrategía brinda una reducción en el consumo de energía en el mismo horario, obteniendo así, los mayores beneficios económicos.

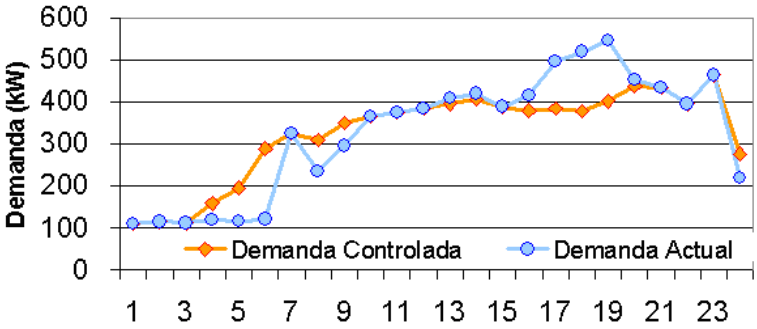
Esta estrategia de control de la demanda eléctrica permite manejar la operación de un conjunto amplio de equipos de manera que se utilice la menor cantidad de energía posible en el periodo de punta. (Gráfica 4.2)



Grafica 4.2 Restricción de cargas en el horario punta, mediante desconexión de equipos

Transferir carga a otro horario

En este caso la estrategia se basa en transferir las cargas menos criticas para la operación de la planta del horario punta a horarios base o intermedio, a diferencia de la estrategia anterior los beneficios economicos son menores, ya que el consumo de energía no se limita, debido a que las cargas continuan operando en un horario donde el cargo por energía es más económico, sin embargo se obtienen beneficios al limitar los valores de la demanda máxima en el horario punta. (ver gráfica 4.3)



Grafica 4.3 Traslado de cargas del horario punta al horario base o intermedio

Asignación de prioridades a las cargas

En el proceso de análisis de desconexión de equipos, se debe definir la prioridad de las cargas. Para definir el nivel de prioridad de las cargas se tendrán que realizar reuniones con el personal operativo de la instalación quienes estarán completamente de acuerdo con el nivel de prioridad y el tiempo máximo de desconexión.

A manera de ejemplo, en la tabla 4.3 se presenta una clasificación de cuatro niveles de prioridad con que puede efectuar la categorización de cargas para el pre-establecimiento del programa de control.

Prioridad	*Descripción*
0	Es para aquellas cargas que pueden ser desconectadas en tiempos dispersos: noches, cambios de turno, ciclos de descanso, etc. Sin efectos adversos sobre el proceso productivo.
1	Es para aquellas cargas que, aunque su termostato, manómetro, electronivel, etc., pidan un arranque, este pueda ser retrasado o adelantado 30 minutos o más.
2	Es para aquellas cargas que puedan retrasar o adelantar su arranque menos de 30 pero más de 15 minutos.
3	Aquellas que no puedan retrasar o adelantar su arranque ni 15 minutos.

Tabla 4.3 Prioridad de las cargas eléctricas

Al igual que el factor de potencia y el factor de carga, la prioridad de las cargas no es constante en el tiempo. Una carga que puede ser vital en invierno, puede no serlo en verano, hay industrias cuyos procesos o productos tienen fuertes tendencias estacionales, sea por la naturaleza del consumidor del producto o por otra causa, así pues, lo importante es detectar que tanto varían las prioridades en el tiempo y definir como sacar provecho de esa variabilidad.

A veces la variabilidad no es estacional, a veces es diaria, en este contexto, la variación tendría que ser muy importante para que valiera la pena tomarla en cuenta. Si la variación diaria es alta y además la diversidad de las variaciones es a su vez alta, empieza a ser obvio que un control humano tiene severas limitaciones en su velocidad, rapidez y precisión de operación.

Métodos de control

La demanda máxima puede ser controlada manualmente o con ayuda de dispositivos automáticos. Con ambos existen ventajas y desventajas, además de diferentes grados de complejidad y costos.

a) Control de la demanda manual

El control de la demanda manual más efectivo es realizar una programación de la operación de las diferentes cargas. En algunos casos esto puede realizarse al restringir la operación de ciertas cargas durante un tiempo específico; por ejemplo, durante las horas punta de 18:00 a 22:00 horas. En otros casos, el itinerario puede definir tiempos de operación para ciertos departamentos, líneas de proceso o máquinas. En muchas plantas es fácil hacer esto y puede involucrar cambios en las costumbres de operación, simples pero permanentes. En otras plantas, los programas de operación pueden necesitar de una revisión constante a medida que la producción cambie.

Por otra parte, se sugiere realizar un seguimiento del comportamiento de la demanda mediante mediciones en los tableros principales con equipos, como analizadores de redes, o wattmetros. Aplicando este método con la atención requerida, es decir, establecer buena comunicación con los operadores, trae como resultado prevenir picos de demanda innecesarios.

b) Control de la demanda automático

En muchas plantas el número de cargas diferentes y con diversas características puede ser muy grande, y las variaciones posibles suelen ser demasiadas para un control manual. En otras plantas donde se trabaja un control manual, aún puede haber posibles reducciones a la demanda al añadirse el control automático. Claro está que el control automático es una forma mas sofisticada, versátil y confiable para asegurar un límite a la demanda máxima.

Antes de aplicar un control de la demanda automático, se deben considerar las siguientes acciones:

1. Determinar la carga base para la administración de la demanda, estas son las cargas en las que no se puede aplicar un sistema de control de la demanda.

2. Establecer en que áreas del proceso o cargas es posible realizar un control de la demanda.

3. Establecer procedimientos de operación de la planta que ayuden a la implementación del sistema de control de la demanda.

4. Diseñar la lógica de control de la demanda, asignando prioridades a las cargas a ser controladas y establecer el método para el control. La lógica de control se puede establecer mediante procedimientos manuales para verificar que no se presenten transitorios a la producción y/o el confort, para los cuales se tienen operando los equipos.

4.5 Estudio del control de la demanda

Un estudio de primer nivel de control de la demanda es una buena herramienta que permite conocer la factibilidad de implementar un programa de control. El objetivo es determinar la reducción de la facturación eléctrica al aplicar medidas de control, manual o automático, que modifiquen los patrones de consumo y/o demanda eléctrica en periodo punta.

Un estudio de primer nivel estima los potenciales de ahorro al aplicar medidas de administración de la energía a través del cálculo de los índices energéticos, los cuales se obtienen de la relación entre el consumo de energía y producción, lo anterior es debido a que los programas de control de la demanda eléctrica se plantean como una alternativa de ahorro en sistemas ya eficientes, se pretende además que el usuario aplique medidas de ahorro de energía, e identifique posibles anomalías en el proceso productivo antes de implementar un programa de control de la demanda.

El análisis se aplica para instalaciones con suministro en tarifas horarias y que tienen la factibilidad de modificar sus patrones de consumo y/o demanda eléctrica, es decir, aquellas que tienen la capacidad de operar sus equipos eléctricos con mayor intensidad en los periodos de bajo costo de la energía, o bien controlar su operación en el periodo punta, usando sistemas de control manual y/o automático, donde se tienen cargas eléctricas que operan normalmente dentro del periodo punta por lo menos 15 minutos, ya sea en horario de verano o fuera de verano, y que sean factibles a ser desconectadas por un tiempo mínimo de 15 minutos.

La información mínima para realizar un estudio de este tipo comprende la recopilación de datos generales de la empresa, facturaciones históricas de energía eléctrica, datos de producción, censo de cargas eléctricas que operan y pueden ser desconectados durante el periodo punta (ver anexo 9 “Formato censo de cargas eléctricas que operan en periodo punta)

Como en cualquier estudio de ahorro de energía, el diagnóstico energético en control de la demanda presenta la situación energética del inmueble mediante datos de facturación eléctrica y producción con los que se establece el grado de eficiencia de la empresa y el listado de cargas eléctricas que durante el periodo punta son factibles de ser desconectadas, por lo menos 15 minutos.

A continuación se presentan aspectos del análisis al realizar un estudio de control de la demanda. Los resultados se presentan al usuario en un reporte final, donde se presentan los potenciales de ahorro económico por controlar la demanda eléctrica en periodo punta, el monto de inversión para la adquisición de un equipo de control automático que limite la demanda, el tiempo simple de recuperación de la inversión, los potenciales de ahorro de energía a través de índices energéticos y adicionalmente los potenciales de ahorro económico por autoabastecimiento de energía eléctrica en horas de periodo punta.

4.6 Aspectos de la metodología de análisis

Los potenciales de ahorro por aplicar medidas de administración de energía se determinan a través del calculo de los índices energéticos, los cuales relacionan el consumo de energía y producción, a fin de identificar los meses donde la empresa presenta la mayor y menor eficiencia energética (ver anexo 11 “Evaluación de índices energéticos control de la demanda”), de manera que el usuario se interese en los meses donde se presentan menores eficiencias y aplique medidas de ahorro de energía e identifique posibles anomalías en su proceso productivo.

Potenciales de ahorro por control de la demanda en periodo punta

El método aplicado en este estudio para evaluar los potenciales de ahorro por control de la demanda, está basado en la desconexión parcial de cargas en periodo punta, para lo que se seleccionan algunas cargas eléctricas para programar su desconexión y reducir así en primera instancia la demanda en periodo punta (ver Tabla 4.4)

En esta etapa se determina la facturación eléctrica que se tendría al aplicar medidas de control y se compara contra los datos de facturación eléctrica, posteriormente, se estiman los potenciales de ahorro económico, tanto en el horario de verano como para el horario fuera de verano (ver anexo 12 “Evaluación potenciales de ahorro por control de la demanda”).

No. Ref.	Descripción del equipo	Potencia de operación	Tiempo de desconexión en periodo punta (minutos)		Reducción en demanda (kW) *	
		(kW)	Verano	Fuera de verano	Verano	Fuera de verano
TOTALES						

** La reducción en demanda punta se estima a partir de un factor de coincidencia entre el tiempo que será desconectada y el tiempo del periodo punta, multiplicado por la potencia de operación de dicha carga*

Tabla 4.4 Reducción de la demanda eléctrica en periodo punta

5. Análisis tarifario

Una tarifa es el precio que el usuario paga por un servicio, su finalidad es asegurar que los ingresos propios de las empresas suministradoras sean suficientes para cubrir el crecimiento de la demanda interna con la calidad, oportunidad y suficiencia que requiere el desarrollo de un país.

El costo del servicio consiste en que a cada usuario se le debe cobrar la electricidad consumida de acuerdo con el costo en que se incurre para suministrarla. El cobro no se efectúa individualmente debido a las dificultades de separar los distintos costos. La metodología que aplica actualmente consiste en utilizar la misma estructura tarifaría a un conjunto de consumidores afines de acuerdo a una serie de parámetros.

Así, la estructura tarifaría esta determinada por:

- Uso de la energía
- La tensión de suministro
- Los tipos de medición
- Los patrones de consumo de los distintos segmentos de usuarios

La existencia de tarifas diferenciadas por tipo de usuario, región y estación del año se debe a que los costos de suministro varían de acuerdo a la tensión, la distancia entre el centro de producción y consumo, horario de demanda (punta, intermedia o base) y la congestión de la red de transmisión y distribución, entre otros factores.

Las tarifas tienen tres funciones principales: la financiera, la económica y la política y social.

a) *Función financiera*

Se refiere al nivel tarifario que permite asegurar el financiamiento de los costos de explotación y de inversión, así como la realización de los objetivos financieros, por ejemplo el equilibrio presupuestario y la obtención de una cierta tasa de autofinanciamiento o de rentabilidad del capital.

b) Función económica

Se relaciona con la estructura tarifaria, se habla de estructura y no simplemente de un precio uniforme del (kWh), señal de costo marginal para influir en el perfil de la demanda y promover la eficiencia económica.

El suministro de un kWh a un cliente es un servicio que se valoriza a lo largo de su cadena de producción-transporte-distribución.

Los costos de abastecimiento están relacionados con el nivel de tensión del consumidor, resulta mucho más caro suministrar a los clientes de baja y mediana tensión que a los de alta, ello debido a que estos últimos solo requieren de los equipos de producción y de una red de transmisión para ser alimentados, contra las necesidades de una red de distribución (de tensión media y baja) y de transformadores (para el paso de alta tensión a media y de ésta a baja) que son adicionalmente necesarios en los clientes de media y baja tensión.

El nivel de pérdidas son diferentes en ambos casos; en el suministro a los clientes de alta tensión sólo se tienen pérdidas por generación y transmisión, mientras que en los de baja y media hay que afrontar también las de distribución y las de transformación.

El costo del kWh no es uniforme en el tiempo, esto se debe a las importantes variaciones diarias, semanales y mensuales de la demanda, lo que deriva en que la venta de la electricidad sea en realidad la venta de una curva de carga, dicha curva presenta una sucesión de “picos” y de “valles” cuyo costo de generación es diferente en cada uno de estos casos. Resulta más caro satisfacer la demanda pico, porque para ello se requieren equipos de producción que son poco utilizados a lo largo del año y de una red cuya carga es irregular en este mismo periodo.

Los objetivos dictados por la teoría económica son: satisfacción de la demanda, minimización del costo de producción y venta a costos marginales, se debe asegurar la coordinación entre las decisiones de la empresa y la de los clientes; es decir, debe efectuar una regulación del sistema oferta-demanda, tanto para la planificación como para la tarificación.

Para la tarificación, la coordinación se realiza determinando el conjunto de los equipos, cuyo nivel (componente financiera) y estructura (componente económica) satisfagan la demanda al mínimo costo para una cantidad de servicio dado (regulación de la oferta a través de la demanda). Esto significa transmitir las señales de costo que van a afectar el comportamiento de los clientes, o sea, los cambios en el nivel y en la estructura de la demanda; esto es, la regulación de la demanda a partir de la oferta, mediante una tarifa.

La elaboración de una estructura tarifaria se basa, por lo tanto en dos principios:

1. La neutralidad**,** es decir, la igualdad de tratamiento entre los clientes (cuando las características de los costos son las mismas para el productor y para el distribuidor de la electricidad.

2. El costo marginal**,** que refleja el costo adicional de producción cuando los usuarios demandan una unidad adicional del bien. Se trata de un cálculo enfocado a valorar los costos reales, que generan precios reales.

Si el costo marginal se refleja fielmente en la tarifa, informa al usuario del costo adicional soportado por el productor y distribuidor de electricidad, derivado de

cualquier cambio en su estructura de consumo. Esta referencia permite orientar los consumos de energía hacia horarios donde se tengan tarifas más económicas.

c) Función política y social

Esta es consecuencia de la importancia del sector eléctrico dentro de la economía nacional y del carácter de servicio público de la distribución eléctrica. La determinación y la aplicación de una estructura tarifaria no es en general de la competencia exclusiva de la empresa eléctrica. La tarifa es a menudo, un instrumento utilizado por los poderes públicos para acompañar a las políticas industriales o para efectuar la redistribución del ingreso.

Este tipo de intervenciones introduce deformaciones de la tarifa con relación a los costos, tanto en su estructura (distorsión de señal tarifaría) como en su nivel (desequilibrio financiero). Por ello, se hace necesario tratar de minimizarlas, desproporcionando lo menos posible la estructura tarifaría de los suministros que tienen el potencial de desarrollo más importante.

5.1 Facturación eléctrica

La operación de toda instalación sea edificios, de uso comercial y/o servicios o bien una industria, tiene como base la disponibilidad de varios tipos de materias primas incluidos los energéticos (petróleo, gas, agua, electricidad, etc.). El incremento de costos en los energéticos provoca un aumento de costos de producción para un industrial, en el caso de otro tipo de instalaciones, la electricidad por ejemplo, puede llegar a representar un concepto importante en los recursos financieros dispuestos para operarla.

Es evidente que la solución para reducir los costos es implementar medidas para evitar el desperdicio y uso ineficiente. Una de las medidas básicas para ahorrar energía eléctrica es la correcta administración de la misma, es importante saber la forma en que este recurso se usa y lo que representa económicamente para tomar las acciones pertinentes, en principio muchos usuarios desconocen cual es el costo de la energía, los conceptos y la forma en que se les factura el servicio sin saber que esto representa también una área de oportunidad.

El sector industrial[1] por sus niveles de consumo y por su constante crecimiento, representa un espacio de oportunidades para el uso racional de la energía eléctrica. De acuerdo a los análisis de las facturaciones eléctricas realizados para elaborar los estudios de ahorro de energía, se ha comprobado que el tener el contrato adecuado de la tarifa con la compañía suministradora, representa también un beneficio económico y una oportunidad mayor en los programas de administración de la energía.

[1] Considerando particularmente a los usuarios de las tarifas OM y HM de acuerdo a la clasificación de CFE

En estudios de análisis de cambio de contrato tarifario elaborados en la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, se ha estimado que el beneficio económico al pasar de un servicio en baja tensión (tarifa 2 y 3) a una tarifa en media tensión (OM y HM) es en promedio del 30%. Este aspecto se analiza con base en el costo promedio por kWh consumido, los cuales varían de 2 a 2.5 pesos por cada kWh para usuarios en tarifa 2, de 1.6 a 2 pesos para la tarifa 3, en tarifa OM de 0.8 a 0.9 pesos y para contratos en tarifa HM de 0.9 a 1.2 pesos por cada kWh[2] (ver también anexo 13 "Análisis de la facturación eléctrica), este indicador también conocido como *precio medio,* refleja al usuario el costo del servicio eléctrico suministrado. En la tabla 5.1 se presentan los precios medios históricos y el incremento comparado anual de acuerdo a estadísticas de la Comisión Federal de Electricidad.

Tarifa	*2004*	*%*	*2005*	*%*	*2006*
2	1.883	10	2.077	13	2.342
3	1.776	8.4	1.925	13	2.165
OM	1.147	9.5	1.255	14	1.425
HM	0.944	8.5	1.025	11	1.141

Tabla 5.1. Precios medios de la energía por tipo de tarifa
Fuente: Estadística de ventas SEN, CFE
www.cfe.gob.mx

El conocimiento del sistema tarifario le da en principio al usuario una herramienta para disminuir el monto que por concepto de energía eléctrica paga, debiendo seleccionar para esto la tarifa adecuada a su demanda. El valor de la demanda la compañía suministradora la determina mensualmente por medio de instrumentos de medición, los cuales censan la demanda media en intervalos de 15 minutos y registran el valor en el cual el consumo de energía eléctrica es mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo de facturación.

A continuación se presenta un ejemplo para análisis de cambio de tarifa, donde se puede ver el beneficio económico de tener el contrato de la tarifa eléctrica adecuada.

Ejemplo.

Se tiene una instalación con un contrato en tarifa 3 (servicio general en baja tensión para más de 25 kW de demanda), se cuenta con su historial anual de facturaciones el cual indica en promedio un consumo mensual de 59,083 kWh y 192 kW de demanda respectivamente, estimar el beneficio económico si el servicio se paga bajo una tarifa de acuerdo a su comportamiento histórico de demanda.

[2] Análisis de la base de datos Diagnósticos Energéticos en el sistema de iluminación Conae 2006. Elaboración propia

Solución:

Con la información de los últimos 12 meses de los recibos de la Compañía Suministradora, se elabora una tabla, en este caso se tiene:

Historial anual facturaciones eléctricas			
Periodo	*Demanda máxima (kW)*	*Consumo de energía (kWh)*	*Importe [A] ($)*
Mar-06	194	56,200	109,485
Abr-06	196	60,200	118,387
May-06	180	58,800	104,821
Jun-06	204	61,400	112,931
Jul-06	186	54,800	96,636
Ago-06	192	63,400	113,562
Sep-06	182	57,400	101,781
Oct-06	182	59,000	109,495
Nov-06	188	61,600	119,812
Dic-06	212	61,400	123,665
Ene-07	194	58,400	114,769
Feb-07	192	56,400	110,854
Promedio	*192*	*59,083*	**111,350**

[A] Cargo por concepto de demanda y consumo de energía (no se incluyen cargos por fp, DAP e IVA)

Como se puede observar, las facturaciones eléctricas muestran que los registros de demanda máxima son superiores a los 100 kW, valor mínimo establecido por la tarifa H-M. Por lo anterior, resulta conveniente realizar el análisis para cambiar de tarifa 3 a tarifa H-M (tarifa aplicable a los servicios que destinen la energía a cualquier uso suministrados en media tensión con una demanda mayor a 100 kW) debido a que el precio medio de la energía resulta menor que en tarifa 3.

El beneficio económico se puede calcular a partir del precio medio histórico por cada tarifa (tabla 5.1) o bien con los costos de energía durante el periodo de análisis, como se presenta en la siguiente tabla:

Fecha [mes/año]	Demanda máxima [kW]	Consumo total [kWh]	Tarifa 3 (Actual) Cargos por energía [$]			Precio medio	Tarifa HM (Propuesta) Cargos por energía [$]					Precio medio	Ahorro por cambio de tarifa 3 a HM [$]
			Demanda	Consumo	Total[@]	[$/kWh]	Facturable	Punta	Intermedio	Base	Total[@]	[$/kWh]	
Mar-06	194	56,200	36,195	66,035	102,230	1.819	23,501	12,864	27,986	7,562	71,913	1.280	30,317
Abr-06	196	60,200	35,960	69,531	105,491	1.752	23,146	13,432	29,220	7,896	73,694	1.224	31,797
May-06	180	58,800	33,678	69,266	102,944	1.751	21,722	13,408	29,164	7,882	72,176	1.227	30,768
Jun-06	204	61,400	39,715	75,276	114,991	1.873	25,592	14,554	31,656	8,556	80,358	1.309	34,633
Jul-06	186	54,800	37,955	70,418	108,373	1.978	24,346	13,553	29,480	7,968	75,346	1.375	33,027
Ago-06	192	63,400	39,982	83,117	123,099	1.942	25,592	15,967	34,731	9,387	85,677	1.351	37,422
Sep-06	182	57,400	37,774	75,022	112,796	1.965	24,090	14,355	31,226	8,439	78,110	1.361	34,686
Oct-06	182	59,000	37,805	77,172	114,977	1.949	24,075	14,746	32,076	8,669	79,567	1.349	35,410
Nov-06	188	61,600	38,384	79,218	117,602	1.909	24,391	15,101	32,844	8,878	81,214	1.318	36,388
Dic-06	212	61,400	43,047	78,531	121,577	1.980	27,414	15,002	32,629	8,819	83,864	1.366	37,713
Ene-07	194	58,400	38,930	73,818	112,748	1.931	24,704	14,052	30,562	8,261	77,580	1.328	35,168
Feb-07	192	56,400	37,434	69,259	106,693	1.892	23,612	13,107	28,507	7,705	72,931	1.293	33,762
Promedio	**192**	**59,083**	**38,072**	**73,889**	**111,960**	**1.895**	**22,790**	**13,235**	**28,790**	**7,780**	**72,594**	**1.244**	**30,961**

[@] Importe a pagar por concepto de demanda y consumo de energía (no se incluyen cargos por factor de potencia, derecho de alumbrado publico e IVA), estimado con precios de la energía eléctrica para la tarifa y mes correspondientes

[&] Los consumos de energía por periodo tarifario se estimaron con base al comportamiento del consumo de energía eléctrica de los inmuebles registrados en el Programa de Ahorro de Energía en la Administración Publica Federal con tarifa H-M, Región Centro

De acuerdo a la tabla anterior, con los datos promedio mensual de 192 kW de demanda máxima y 59,083 kWh en consumo de energía, esto representó en tarifa 3 una facturación eléctrica de 111,960 pesos al mes; sin embargo en tarifa H-M, el monto de facturación eléctrica sería de 72,594 pesos al mes, por lo que se tendría un ahorro promedio de 30,961 pesos al mes, lo que representa un beneficio económico de 27.7% y pasar de un precio medio por kWh de 1.90 a 1.20 pesos,

Cabe señalar que otro de los beneficios al tener contratado el suministro de energía en tarifa H-M es que el usuario tiene la posibilidad de modificar sus patrones de consumo y demanda eléctrica al operar los equipos eléctricos en los periodos de bajo costo de la energía, o bien controlar su operación durante el periodo punta por medio de sistemas de control manual o automático (véase capítulo 4 “Control de la Demanda”).

Anexos

1. Diagnóstico energético en el sistema de iluminación

Formatos levantamiento de datos

a) Datos básicos del inmueble

FORMATO F1	DATOS BÁSICOS DEL INMUEBLE	Fecha:
Usuario		Proyecto:
		Revisó:

1. Inmueble

Dependencia / empresa			
Uso principal		Descripción	
Calle y número		Colonia / localidad	
Delegación / municipio	Ciudad	Estado	C.P.

2. Construcción

Edificio	Núm. de niveles	Área m2 (aprox) *Por nivel*	*Por edificio*	Año de *Construcción*	*Operación*
Total:		*Área total :*	m^2		
		Superficie del terreno:	m^2		

3. Horario de trabajo y personal

Horario laboral:	- hrs	Núm. de personal	

4. Electricidad

¿Tarifa única? (SI) (NO)	Tarifa (s)	Capacidad de la(s) subestación(es):	kVA
Región:		Cap. de la(s) planta(s) de emergencia:	kW

4. Aire acondicionado

¿El inmueble tiene equipos de aire acondicionado? (SI) (NO)	Capacidad instalada TR: Kw:

5. Responsable de la información

Realizó	Cargo
Teléfono / Extensión ( ) - /	Correo electrónico

b) Facturación eléctrica

FORMATO F2	FACTURACIÓN ELÉCTRICA	Fecha
Usuario		Proyecto:
		Revisó:

1. Datos de la facturación

Inmueble

Tarifa
(2) (3) (OM) (HM)

2. Historial últimos 12 meses

Periodo (aa/mm/dd) *Inicio*	*Fin*	Mes	Demanda (kW)	Consumo de energía (kWh)	Factor de potencia (%)	Facturación ($)

c) Zonificación de áreas

FORMATO F3	ZONIFICACIÓN DE ÁREAS	Fecha:
Usuario		Proyecto:
		Revisó:
Inmueble		Hoja: de

Zonificación

Edificio	Nivel	Descripción de zona	Superficie (m2)	Observaciones

d) Censo de equipos

FORMATO F4	CENSO DE EQUIPOS	Fecha.
Usuario		Proyecto:
		Revisó:
Inmueble		Hoja: de

Censo sistemas de iluminación

Edificio	Nivel	Zona	*Descripción (1)*		Potencia (W)	Lamps x sist	Balastro *(2)*	¿Oper. *Dem máx* (s/n)?	*Uso promedio (hrs al día)*			Cantidad de sistemas
			Familia	Clase					Lu - Vi	Sábado	Domingo	

NOTAS (1) Consultar el anexo *tipos de sistemas*

(2) Anotar la clasificación y el tipo de balastro de la(s) lámpara(s) de acuerdo al anexo *tipos de sistemas*

2. Tecnología de lámparas fluorescentes

a) Lámparas fluorescentes lineales

Tipo	Encendido	Potencia (W)	Lúmenes
T12 1a generación 425 mA	EI	21	1100
		39	2850
		55	4600
		75	6200
T12 460 mA Versión ahorradora	EI	30-32	2650
		60	5400
T8 265 mA	EI	59	6000
T12 1a generación	ER	20	1250
		40	3150
		40 "U"	2800
T12 2a generación	ER	34	2750
		34 "U"	2550
3a generación T8	ER	17	1400
		25	2250
		32	3050
		31 "U"	3000
		32 "U"	3000
4a generación T5	ER	14	1200
		21	1900
		28	2900
		35	3300
T5 HO	ER	24	1750
		39	3100
		54	4450
		80	6150

b) Lámparas fluorescentes compactas (LFC)

Potencia (W)	Lúmenes	Equivalente incandescente convencional
5	200	25 W
8	380	25 W
11	550	40 W
13	730	40 W
15	900	60 W
20	1200	75 W
23	1450	100 W

3. Sustitución tecnológica lámparas fluorescentes

	Caso base	*Propuestas**		
	T12 convencional	T12 versión ahorradora	T8	T5 (1)
Potencia de lámpara	39 W	32 W	32 W	28 W
Encendido lámp	EI	EI	ER	ER
Tipo de luz	Luz de día	Luz de día	Blanco frío	Blanco frío
Lúmenes de lámpara	2600	2600	3100	2600
Tipo de balastro	EM convencional	EM Ahorrador	ELE premium	ELE premium
Sistema	2 X 39	2 x 32	2 X 32	2 X 28
W sistema	100	72	59	50
Ahorro por sistema	---	28%	41%	50%
Potencia de lámpara	40 W	34 W	32 W	28 W
Encendido lámp	ER	ER	ER	ER
Tipo de luz	Luz de día	Blanco frío	Blanco frío	Blanco frío
Lúmenes de lámpara	2550	2750	3100	2600
Tipo de balastro	EM convencional	EM ahorrador	ELE premium	ELE premium
Sistema	2 X 40	2 x 34	2 X 32	2 X 28
W sistema	95	79	59	50
Ahorro por sistema	---	17%	38%	47%
Potencia de lámpara	75 W	60 W	59 W	---
Encendido lámp	EI	EI	EI	---
Tipo de luz	Luz de día	Blanco frío	Blanco frío	---
Lúmenes de lámpara	5450	5400	5900	---
Tipo de balastro	EM convencional	EM ahorrador	ELE premium	---
Sistema	2 x 75	2 x 60	2 X 59	---
W sistema	180	125	105	---
Ahorro por sistema	---	31%	42%	---
Potencia de lámpara	21 W	---	17 W	14 W
Encendido lámp	EI	---	ER	ER
Tipo de luz	Luz de día	---	Blanco frío	Blanco frío
Lúmenes de lámpara	990	---	1350	1350
Tipo de balastro	EM convencional	---	ELE premium	ELE premium
Sistema	2 X 21	---	2 x 17	2 x 14
W sistema	67	---	33	28
Ahorro por sistema	---	---	51%	58%
Potencia de lámpara	20 W	---	17 W	14 W
Encendido lámp	ER	---	ER	ER
Tipo de luz	Luz de día	---	Blanco frío	Blanco frío
Lúmenes de lámpara	1060	---	1350	1350
Tipo de balastro	EM convencional	---	ELE premium	ELE premium
Sistema	2 x 20	---	2 x 17	2 x 14
W sistema	58	---	33	28
Ahorro por sistema	---	---	43%	52%

Notas

*Valores de catálogo fabricante. Sólo se considera el cambio de lámparas y balastros, sin luminarios ni control del equipo

(1) Lúmenes de catálogo especificados como iniciales a 35 C

Nomenclatura:

EM electromagnético

ELE electrónico

EI enc. Instantáneo (slimline)

ER enc. Rápido

Fuente: Catálogo general 2005/2006 Osram

Base de datos Conae

4. Tabla resumen medidas de inversión para el ahorro de energía

ANEXO TABLA RESUMEN	MEDIDAS DE INVERSIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA	Fecha:	
Consultor		Poyecto:	
		Realizó:	

Inmueble:

Tasa real de descuento: *8.00%*

MAE	Descripción	Cantidad de equipos	Reducción en Carga instalada		Ahorros mensuales						Inversión	Vida del proyecto	Beneficio/	TIR anual	Tiempo de recuperación
					Demanda		Consumo		Económico						
			kW	%	kW	%	kWh	%	$	%	$	meses	Costo	%	meses
1	Sustitución del sistema: CASO BASE Por el sistema propuesto:														
2	Sustitución del sistema: Por el sistema propuesto:														
3	Sustitución del sistema: Por el sistema propuesto:														
4	Sustitución del sistema: Por el sistema propuesto:														
5	Sustitución del sistema: Por el sistema propuesto:														
Totales															

5. Formato evaluación sistemas de iluminación

FORMATO ESI	EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	Proyecto:	
Consultor		Fecha:	
		Realizó	

1. Instalación

Nombre	Uso principal	
Calle y número	Colonia / Localidad	
Delegación / Municipio	Estado	Antigüedad
Descripción		

2. Mantenimiento

Carácter Preventivo ( ) Correctivo ( ) Eventual ( )	Tipo En bloque ( ) Puntual ( )	Responsables Propios ( ) Empresa ( ) Mixto ( )
Calidad del sistema (ejemplar) Buena ( ) Aceptable ( ) Deficiente ( )	Política de compra SI ( ) NO ( )	Reposición de equipos (stock) Adecuada ( ) Suficiente ( ) Mala ( )
Comentarios		

4. Locales (áreas específicas)

Área de trabajo	Descripción de actividades		Cantidad de usuarios
Edad promedio usuarios	Profesión / oficio promedio	Horario laboral	Horario de comida
Descripción del área			

4.1 Datos del local

Dimensiones del local (mts) Largo x ancho x altura:	Ubicación ventanas N ( ) S ( ) E ( ) O ( )	Obstrucción ventanas < 20% ( ) 20 - 60% ( ) > 60% ( )
Croquis		

5. Formato evaluación sistemas de iluminación (cont)

FORMATO ESI	**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN**	Proyecto:	
Consultor		Fecha:	
		Hoja ( ) de ( )	

5. Sistemas de iluminación

Referencia							
Iluminación							
Familia sistema							
Tipo lámpara							
No de lámparas							
Potencia lámp.							
Lamps OK							
Lamps off							
Balastro							
Lámp x balastro							
Lámp x luminario							
Tipo luminario							
Reflector lumin.							
Difusor lumin.							
Método control							
% Control							

Comentarios / sugerencias usuarios

6. Niveles de iluminación

Horizontal (Mínimo 8 puntos) - (plano de trabajo)	Vertical (Mínimo 6 puntos)
Punto EH (lux)	Punto EV (lux)
EH promedio ____ lux	*EV promedio* ____ lux
Observaciones: (Descripción de colores y acabados)	*Uniformidad RU:* deseable > 0.7 *Efecto caverna Ec:* ideal 3.5

6. Formato levantamiento de datos evaluación FP

Evaluación del fp	DATOS DE LA INSTALACIÓN	FORMATO EFP FECHA: EFP:

1. Instalación

Nombre	Actividad principal	
Calle y número	Localidad/Colonia	
Municipio o Delegación	Estado	Código Postal
Responsable de la información	Teléfono	Fax
Cargo	Correo electrónico	

2. Tiempo de operación de la instalación (h/día)

Lunes a viernes	Sábado	Domingo
10	0	0

3. Electricidad

Tarifa eléctrica	HM	Tensión de operación (volts)	220

4. Datos de facturación eléctrica #

Fecha [mes/año]	Demanda máxima [kW]	Consumo total de energía [kWh]	Factor de potencia [%]	Facturación eléctrica& [$]
Datos promedio mensual				

5. Observaciones

Datos de las últimas facturaciones eléctricas

& Pago por concepto de demanda y consumo de energía (no incluir cargos por factor de potencia, derecho de alumbrado público e IVA)

7. Análisis evaluación del factor de potencia

FICHA TÉCNICA PARA LA COMPENSACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Inmueble:	Grupo Industrial México S.A de C.V	**EFP:**	06/05
Dirección:	Lerma s/n	**Fecha:**	14-Mar-05

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

DATOS DE LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA PROMEDIO MENSUAL		
Concepto	Unidad	Valor
Consumo de energía total	kWh	75,075
Factor de potencia (FP)	%	80.84
Facturación por demanda y energía *	$	178,944

* Nota: Es la facturación total (en pesos) sin incluir cargos por FP, DAP e IVA

DATOS DE OPERACIÓN NORMAL DE LA INSTALACIÓN		
Tiempo de operación de lunes a viernes	h/día	12
Tiempo operación del sábado	h/día	8
Tiempo operación del domingo	h/día	6
Tiempo total de operación mensual	h/mes	320
Tensión de operación	volt	220

RESULTADOS

EVALUACIÓN TÉCNICA		
Concepto	Unidad	Valor
Reactivos requeridos a tensión nominal	kVAr	180
Factor de potencia promedio mensual	**%**	99.66

Costo unitario por capacitor	$/kVAr	270
Costo total del banco	$	48,647
Costo de materiales y mano de obra	$	16,053
Descuento aplicado al precio de lista de capacitores	%	30
Costo total	$	64,700

Nota: La tensión nominal del capacitor es de 240 volts

BENEFICIOS POTENCIALES		
Evitar penalización por bajo FP	$/mes	12,168
Bonificación por mejorar el FP	$/mes	4,295
Beneficio total	$/mes	16,463

INVERSIÓN ESTIMADA		
Potencia total requerida de capacitores	kVAr	180
Costo total	$	64,700

Nota: El costo total incluye equipo, materiales y mano de obra

TIEMPO SIMPLE DE RECUPERACIÓN		
Costo total / beneficio total	meses	4

8. Regiones tarifarias CFE

Para la aplicación de los cargos de las tarifas con diferencias por región, éstas se encuentran comprendidas por los siguientes municipios del país:

Región	Municipios
Baja California	Todos los municipios del Estado de Baja California. Municipios del Estado de SONORA: San Luis Río Colorado.
Baja California Sur	Todos los municipios del Estado de Baja California Sur.
Noroeste	Todos los municipios del Estado de Sonora excepto el comprendido en la Región Baja California. Todos los municipios del Estado de SINALOA.
Norte	Todos los municipios de los Estados de CHIHUAHUA y DURANGO. Municipios del Estado de ZACATECAS: Chalchihuites, Jiménez del Teúl, Sombrerete, Sain Alto, Jerez, Juan Aldama, Río Grande, General Francisco Murguía, Mazapil, Melchor Ocampo. Municipios del Estado de COAHUILA: Torreón, San Pedro de las Colonias, Matamoros, Viesca, Parras de la Fuente, Francisco I. Madero, Ocampo y Sierra Mojada.
Noreste	Todos los municipios de los Estados de NUEVO LEON y TAMAULIPAS. Todos los municipios del Estado de COAHUILA excepto los comprendidos en la REGION NORTE. Municipios del Estado de ZACATECAS: Concepción del Oro y El Salvador. Municipios del Estado de SAN LUIS POTOSI: Vanegas, Cedral, Cerritos, Guadalcázar, Ciudad Fernández, Rioverde, San Ciro de Acosta, Lagunillas, Santa Catarina, Rayón, Cárdenas, Alaquines, Ciudad del Maíz, Ciudad Valles, Tamazopo, Aquismón, Axtla de Terrazas, Tamazunchale, Huehuetlán, Tamuín, Tancahuitz, Tanlajas, San Antonio, Coxcatlán, Tampamolón, San Vicente Tancuayalab, Ebano, Xilitla, Tampacán, Tanquián de Escobedo. Municipios del Estado de VERACRUZ: Pánuco, Tempoal, Pueblo Viejo, Tampico Alto, Ozuluama de Mazcareñas, El Higo, Huayacocotla.
Central	Todas las Delegaciones del DISTRITO FEDERAL. Municipios del Estado de MEXICO: Tultepec, Tultitlán, Ixtapaluca, Chalco de Díaz Covarrubias, Huixquilucan de Degollado, San Mateo Atenco, Toluca, Tepotzotlán, Cuautitlán, Coacalco, Cuautitlán Izcalli, Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla, Naucalpan de Juárez, Ecatepec, Chimalhuacán, San Vicente Chicoloapan, Texcoco, Ciudad Nezahualcóyotl, Los Reyes La Paz. Municipios del Estado de MORELOS: Cuernavaca.
Sur	Todos los municipios de los Estados de: NAYARIT, JALISCO, COLIMA, MICHOACAN, AGUASCALIENTES, GUANAJUATO, QUERETARO, HIDALGO, GUERRERO, TLAXCALA, PUEBLA, OAXACA, CHIAPAS, TABASCO. Todos los municipios de los Estados de ZACATECAS, SAN LUIS POTOSI y VERACRUZ no comprendidos en la REGION NORTE o en la REGION NORESTE. Todos los municipios de los Estados de MEXICO y MORELOS no comprendidos en la REGION CENTRAL.
Peninsular	Todos los municipios de los Estados de: YUCATAN, CAMPECHE y QUINTANA ROO.

Fuente: Disposiciones complementarias 2007. "Regiones tarifarias y zonas conurbadas"
www.cfe.gob.mx

9. Tarifa HM: Periodos de punta, intermedio y base

Región Baja California

Del 1º de mayo al sábado anterior al último domingo de octubre

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes		0:00 - 14:00 18:00 - 24:00	14:00 - 18:00
sábado		0:00 - 24:00	
domingo y festivo		0:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre al 30 de abril

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 17:00 22:00 - 24:00	17:00 - 22:00	
sábado	0:00 - 18:00 21:00 - 24:00	18:00 - 21:00	
domingo y festivo	0:00 - 24:00		

Región Baja California Sur

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes		0:00 - 12:00 22:00 - 24:00	12:00 - 22:00
sábado		0:00 - 19:00 22:00 - 24:00	19:00 - 22:00
domingo y festivo		0:00 - 24:00	

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00	
sábado	0:00 - 18:00 21:00 - 24:00	18:00 - 21:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00	

Regiones Central, Noreste, Noroeste, Norte, Peninsular y Sur

Del primer domingo de abril al sábado anterior al último domingo de octubre

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 20:00 22:00 - 24:00	20:00 - 22:00
sábado	0:00 - 7:00	7:00 - 24:00	
domingo y festivo	0:00 - 19:00	19:00 - 24:00	

Del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril

Día de la semana	Base	Intermedio	Punta
lunes a viernes	0:00 - 6:00	6:00 - 18:00 22:00 - 24:00	18:00 - 22:00
sábado	0:00 - 8:00	8:00 - 19:00 21:00 - 24:00	19:00 - 21:00
domingo y festivo	0:00 - 18:00	18:00 - 24:00	

10. Formato censo de cargas eléctricas en periodo punta

FORMATO F3 - CDE	CENSO DE CARGAS ELÉCTRICAS QUE OPERAN EN PERIODO PUNTA	Fecha:
Usuario		Proyecto:
		Revisó

Instalación:

Censo de cargas @

No. ref.	Descripción del equipo	Potencia		Verano **		Fuera de verano **	
		Placa o etiqueta (kW)	Operación (kW) *	Tiempo de operación (minutos/día)	Tiempo de desconexión (minutos/día)	Tiempo de operación (minutos/día)	Tiempo de desconexión (minutos/día)
Totales		**0.00**	**0.00**	---	---	---	---

@ Registrar única y exclusivamente aquellas cargas que operan normalmente dentro del periodo punta por lo menos 15 minutos, ya sea en horario de verano o fuera de verano y que sean factibles a ser desconectadas por un tiempo mínimo de 15 minutos

* Ver anexo de mediciones eléctricas

** Nota: Para conocer los horarios de punta para el periodo de verano y fuera de verano, consultar el anexo de periodos tarifarios

11. Evaluación de índices energéticos control de la demanda

FORMATO ÍNDICES

EVALUACIÓN DE POTENCIALES DE AHORRO POR ADMINISTRACIÓN DE LA ENERGÍA

Fecha	23/07/07
Proyecto	03/07
Realizó	SCV
Vo Bo	HJM

Consultor

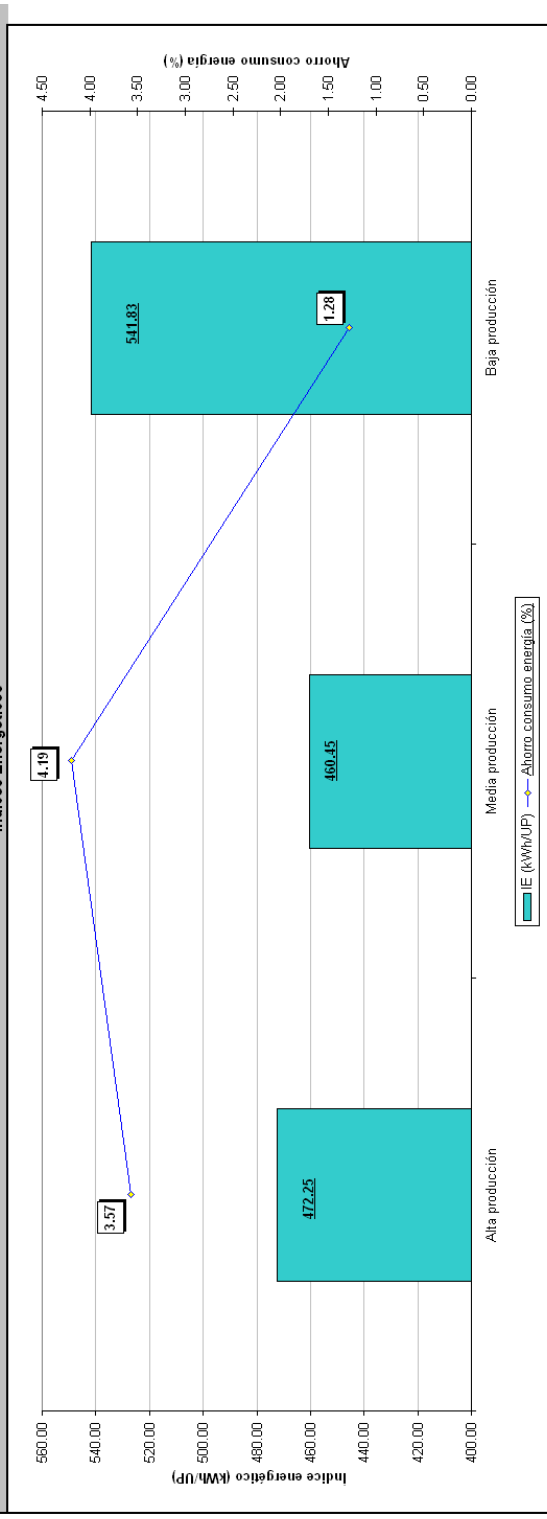
Empresa: Embotelladora de jugos y bebidas carbonatadas

Proceso analizado: Línea 2-A Envasado Botes

Unidad de producción: Botes

Mes	Consumo [kWh]	Producción Botes	Índice energético (IE) [kWh/UP]	Baja producción: Rango producción: Producción	Baja producción: IE [kWh/UP]	Baja producción: Ahorro A [kWh]	Media producción: Rango producción: Producción	Media producción: IE [kWh/UP]	Media producción: Ahorro A (kWh)	Alta producción: Rango producción: Producción	Alta producción: IE [kWh/UP]	Alta producción: Ahorro A (kWh)
				8,715		9,737	9,738		10,760	10,761		11,783
ENE	5,556,000	8,716	637.45	8,716	637.45	833,418						
FEB	4,728,000	8,726	541.83	8,726	541.83	0						
MAR	4,674,000	10,151	460.45 @				10,151	460.45	0			
ABR	5,514,000	10,146	543.47				10,146	543.47	842,302			
MAY	5,544,000	10,248	540.98				10,248	540.98	825,337			
JUN	4,866,000	10,097	481.93				10,097	481.93	216,864			
JUL	5,514,000	10,136	544.00				10,136	544.00	846,907			
AGO	6,030,000	11,055	545.45							11,055	545.45	809,329
SEP	5,676,000	10,924	519.59							10,924	519.59	517,193
OCT	5,604,000	11,782	475.64							11,782	475.64	40,007
NOV	6,348,000	11,411	556.31							11,411	556.31	959,210
DIC	5,130,000	10,863	472.25							10,863	472.25	0
Promedio mensual	5,432,000	10,355	526.61	*Potencial de ahorro*		*833,418*	*Potencial de ahorro*		*2,731,410*	*Potencial de ahorro*		*2,325,738*

Índices Energéticos



Potenciales de ahorro anuales			
Consumo de energía		Económico	
[kWh]	[%]	[$] B	[%]
5,890,566	9.04	5,597,881	9.04

Observaciones

	Mes	IE [kWh/UP]
Mes con mínima eficiencia energética (máximo consumo de energía por UP)	0	637.45
Mes con máxima eficiencia energética (mínimo consumo de energía por UP)	0	460.45

@ *Valor de máxima eficiencia energética*

A *Ahorros en consumo de energía calculados a partir de la diferencia entre el índice energético actual y el índice de máxima eficiencia, multiplicada por la producción del mes correspondiente*

B *Ahorro económico calculado con el costo unitario anual de la energía*

12. Evaluación potenciales de ahorro por control de la demanda

Ficha técnica estudio de control de la demanda				
Datos históricos de facturación eléctrica (promedio mensual)				
Concepto	Verano		Fuera de verano	
	Demanda (kW)	Consumo (kWh/mes)	Demanda (kW)	Consumo (kWh/mes)
Periodo base				
Periodo intermedio				
Periodo punta				
Total facturable				
FP Factor de potencia (%)				
FC Factor de carga (%)				
Facturación ($/mes)				
Facturación anual ($/año)				
Facturación actual estimada[A]				
Concepto	Verano		Fuera de verano	
Facturación mensual ($/mes)				
Facturación anual ($/año)				
Resultados al aplicar programas de control de la demanda eléctrica				
Valores estimados de demanda				
Concepto	Reducción verano		Reducción fuera de verano	
	Valor	Porciento	Valor	Porciento
Demanda en periodo punta (kW)				
Demanda facturable (kW)				
Facturación estimada[A]				
Concepto	Verano		Fuera de verano	
Facturación mensual ($/mes)				
Facturación anual ($/año)				
Beneficios económicos				
Concepto	Potencial de ahorro			
	($)		(%)	
Verano (mensual)				
Fuera de verano (mensual)				
Total anual				
Evaluación financiera del proyecto				
Concepto			Valor	
			Mínima	Máxima
Inversión estimada equipo de control automático ($)				
Tiempo simple de recuperación de la inversión (meses)				

[A] *Los cálculos se realizaron para el mes de:*
y no se incluyen los cargos por concepto de FP, DAP e IVA

13. Análisis de la facturación eléctrica

Análisis de la facturación eléctrica			
Datos Generales			
Periodo de análisis	Año de facturación	Seleccione	
	Mes	Seleccione	
Información del recibo			
Datos mensuales	Consumo energía		kWh
	Demanda		kW
	Factor de potencia		%
Costos de energía			
Precios CFE	Demanda		$/kW
	Energía		$/kWh
Cálculo de facturación			
Usuario convencional	*Cargo por energía*		pesos
	Cargo por demanda		pesos
	Bonificación/penalización fp		pesos
	Subtotal		pesos
	IVA		pesos
	Facturación periodo		pesos
Gobierno Federal (GF)	*Cargo por energía*		pesos
	Cargo por demanda		pesos
	Cargo GF		pesos
	Subtotal		pesos
	IVA		pesos
	Facturación periodo		pesos
Indicadores económicos			
Usuario convencional	Precio medio (PM)		$/kWh
	PM CFE 2006		$/kWh
	Cargo estimado PM CFE		$/kWh
	Costo unitario recibo		$/kWh
Gobierno Federal (GF)	Precio medio		$/kWh
	Costo unitario recibo		$/kWh
Análisis eléctrico			
Energía	Consumo		kWh
	Demanda máxima		kW
Actividad	Horas de uso		hrs - mes
	Promedio diario		hrs
	Horas del periodo (30 dias)		horas
	Factor de uso		
	Demanda media		kW
	Factor de carga		%

IV. Conclusiones

Los sistemas de energía requieren un equilibrio entre la oferta y la demanda. La mayoría de los esfuerzos actuales y retos políticos, están enfocados a la discusión sobre la calidad, la disponibilidad y la seguridad de las fuentes de energía. Sin embargo, existen oportunidades importantes para nuestro país, para preservar el medio ambiente y nuestros recursos naturales, así como para mejorar nuestra competitividad por el lado de la demanda.

El uso eficiente de la energía eléctrica, a través de programas de administración por el lado de la demanda (DSM por sus siglas en inglés) puede implementarse a partir de dos tipos de acciones: normatividad y programas de ahorro y uso eficiente de la energía. En el caso de la normatividad, el impacto en el ahorro es directo, dado que los equipos y/o sistemas que cumplen con una norma de eficiencia energética consumen menos energía. Cuando se hace referencia a programas de ahorro y uso eficiente de la energía se habla de cómo sería posible utilizar la energía en forma más eficiente simplemente modificando procesos o formas de uso o hábitos, la importancia radica en el conocimiento de los usos finales y su impacto en la curva de consumo, es decir, cómo se usa la energía para después modelar su consumo. Estos programas deben también considerar el impacto de las medidas en los sectores y la capacitación de los usuarios, entre otros aspectos.

La magnitud de la energía que se puede ahorrar y producir el efecto a gran escala está determinada por los equipos y sistemas, del potencial que hay entre el estado actual en términos de lo qué está instalado y del cómo se opera y el cambio que técnicamente se pueda tener; en este sentido el que se logre este ahorro está determinado, en términos económicos, por lo que cuesta el cambio y los costos que se reducen por el cambio. Es así como se establece la eficiencia energética, a partir de las modificaciones a los equipos y/o sistemas y/o a la forma en que estos son operados.

La experiencia en la aplicación de Programas de ahorro de energía ha demostrado que con el incremento de la eficiencia energética, se obtienen beneficios adicionales al costo de los energéticos ahorrados, ya que entre otros se promueve también una cultura energética a todos los niveles.

Los estudios y diagnósticos energéticos son una herramienta técnica utilizada en la evaluación del uso eficiente de la energía, sin embargo, no se podrían alcanzar ahorros significativos y a largo plazo sin el respaldo de Programas de Ahorro de Energía internos bien estructurado, aunque un Diagnóstico identifique ahorros potenciales (que pueden llegar a ser entre el 10 y 30% de la energía), solamente dentro del contexto un Programa de Ahorro de Energía se asegura la infraestructura técnica, administrativa y financiera para llevar a cabo con éxito las medidas tanto de ahorro y uso eficiente de la energía.

Para el caso de un país como el nuestro, donde la participación nacional en el valor de nueva infraestructura de producción de energía es cada vez menor, la alternativa de la eficiencia energética del lado de la producción, distribución e instalación de equipos y la mejora en los sistemas, también tiene un impacto positivo de empleo. Bajo este esquema, en lugar de cubrir necesidades crecientes de infraestructura de producción de energía con bienes de capital que tienen que ser importados, se establece un mercado local de productos y servicios para la eficiencia energética.

La situación para nuestro país en materia de energía eléctrica no es fácil, pero las condiciones para el ahorro y uso eficiente de la energía están dadas, a través de las instituciones y programas creados para tales fines, de la disponibilidad de buenos equipos nacionales e importados, de recursos humanos capacitados y por parte de los usuarios cada día más conscientes, motivados y preocupados por reducir sus costos de operación.

V. Bibliografía

📖 Libros y publicaciones

- *Aspectos básicos del factor de potencia orientados al ahorro de energía eléctrica.* Publicación del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (Fide)

- *Iluminación en inmuebles.* Metodologías Conae. Programa de Ahorro de Energía en inmuebles de la Administración Pública Federal. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

- *Ahorro de Energía.* Ing. Ernesto Niño Solís. Módulo I. Sistemas de Distribución Eléctrica. Diplomado en Instalaciones Eléctricas. División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM.

- *Optimización del factor de potencia y calidad de la energía.* Ing. Roger Garcia Neri. Curso Fide – Atpae

- *Curso de iluminación.* Apuntes de clase. Ing. Alex Ramírez Rivero. Facultad de Ingeniería, UNAM.

- *Medición, análisis y confinamiento de armónicas en sistemas eléctricos.* Notas de curso. Ing. Gilberto Enríquez Harper, Ing. Francisco Cuevas Arteaga, Ing. Jesús Martínez Rodríguez. IEEE Sección México.

- *Metodología de diagnóstico. Ahorro de energía en iluminación.* Ing. Alex Ramírez Rivero, Genertek, S.A. de C.V.

- *Fichas técnicas procesos térmicos. Eficiencia energética: Iluminación.* Comisión Nacional para el Ahorro de Energía Eléctrica

- *Diagnósticos energéticos.* Curso de inducción. Certificación Área Metropolitana Atpae. Programa PCEE.

- *Cien Edificios Públicos. Un Programa piloto para el Ahorro de Energía.* Tesis de Maestría. Ing. Carlos Chávez Baeza. Facultad de Ingeniería, UNAM

- *Prospectiva del sector eléctrico 2005-2014.* Dirección General de Planeación Energética, Secretaría de Energía. México.

- *Las perspectivas del sector energético.* Ing. Cuauhtémoc Cárdenas Solórzano. Artículo de opinión publicado por el periódico La Jornada, México, Mayo de 2007.

- *¿Porqué ahorrar energía? Ahorro de energía en iluminación*. Ing. Alex Ramírez Rivero. Genertek, S.A. de C.V.
- *Diagnósticos energéticos.* Comisión Nacional para el Ahorro de Energía. Secretaría de Energía
- *Guía rápida para corregir el factor de potencia.* Información técnica Inelap. México
- *Elementos básicos de un diagnóstico energético orientado a la aplicación de un Programa de Ahorro de Energía.* México. Publicación electrónica del FIDE
- *Tarifas horarias para la mediana industria y el uso racional de la energía eléctrica.* Odón de Buen Rodríguez, Artículo de opinión. Portal en Internet del autor

Consulta de normas vigentes

- NOM-007-ENER-2004. "Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales"
- *NOM-008-SCFI-2002 "Sistema General de Unidades de Medida"*
- *NOM-025-STP-1999 "Condiciones de iluminación en los centros de trabajo"*
- *NOM-001-SEDE-2005 "Instalaciones eléctricas (utilización)"*
- *NOM-002-SEDE-1999 "Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución"*

Directorio de sitios de internet

- *Comisión Federal de Electricidad.* www.cfe.gob.mx
- *Comisión Nacional para el Ahorro de Energía*. www.conae.gob.mx
- Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Departamento de Luminotecnia Luz y Visión "Ing. Herberto C. Bühler". Tucumán, Argentina. http://www.herrera.unt.edu.ar/dllyv/publicaciones/libros.htm
- *Comisión Federal de Electricidad.* www.cfe.gob.mx
- *Transición energética.* www.funtener.org