



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

01178  
2  
2ej°

# ECONOMIA DEL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LA ILUMINACION

TESIS QUE PRESENTA

Claudia Sheinbaum Pardo

Para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería (energética)

División de estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería UNAM

Septiembre 1990

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

01178  
2  
249



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

# ECONOMIA DEL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LA ILUMINACION

TESIS QUE PRESENTA

Claudia Sheinbaum Pardo

Para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería (energética)

División de estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería UNAM

Septiembre 1990

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INDICE.

Introducción.....	1
Usos finales.....	1
Importancia de la iluminación.....	5
I. Tecnología de la iluminación.....	9
I.1 Algunas características de la luz.....	9
I.2 Lámparas.....	13
I.2.1 Lámparas incandescentes.....	15
I.2.2 Lámparas fluorescentes.....	23
I.2.3 Descarga de alta intensidad.....	31
I.3 Luminarios.....	37
I.4 Control de la iluminación.....	38
I.5 Efectos en la salud de las nuevas tecnologías de iluminación.....	40
II. La generación de la electricidad.....	41
II.1 Costo de generación. ....	43
II.2 Costo del KWh generado.....	46
II.3 Cálculo de costos.....	49
III. Economía del uso eficiente de la energía.....	69
III.1 Rentabilidad del cambio tecnológico para el usuario.....	69
III.1.1. Algunas técnicas de evaluación financiera.....	69
III.1.2. Análisis de las alternativas a la tecnología convencional....	74
III.1.2.1. Iluminación residencial....	80
III.1.2.2. Iluminación comercial.....	92
III.2. Potencial de ahorro en la sustitución de tecnología convencional por eficiente.....	101

III.2.1. Consumo de energía para iluminación.....	101
III.2.2. Iluminación residencial.....	106
III.2.3. Iluminación comercial.....	
III.3. Análisis de sensibilidad.....	125
IV. Conclusiones.....	137
Apendice 1. Alguna tecnología de la iluminación disponible en México.	
Apendice 2. Datos de ventas de focos.	
Apendice 3. Factor de Potencia	
Apendice 4. Precios de la energía eléctrica.	
Bibliografía.	



## INTRODUCCION

## INTRODUCCION

El desarrollo de diferentes formas de energía permitió un salto cualitativo invaluable en el progreso de la humanidad. Así, prácticamente todas las actividades del hombre en la época moderna, están asociadas de manera directa o indirecta, al consumo de energía. Más aun, parte de las profundas desigualdades económicas y sociales que marcan la diferencias entre los países del Norte y los del Sur, está dado por la obtención, procesamiento, aprovechamiento y eficiencia de las formas de energía.

Con este marco de referencia, se puede afirmar que todos los estudios encaminados a descubrir o mejorar los modelos existentes, relacionados con las fuentes de obtención y las formas de consumo de la energía, no sólo son necesarias, sino imprescindibles.

### 1. Usos finales de la energía.

Hace algunos años, los estudios sobre demanda futura de energía estaban constituídos, básicamente, por diferentes análisis de tipo econométrico. Este tipo de modelos permitió explicar y planear con gran precisión el consumo de energía hasta antes del "choque" petrolero de los años setentas.

Después de ese momento, a pesar de que se agregó al modelo econométrico la variable relacionada con el precio del energético, este esquema de análisis funcionó sólo para mostrar parte del comportamiento del consumo, pero dejó de

proyectar acertadamente la demanda de energía.

Esto, entre otros factores, provocó una crisis en los modelos de estudio y planeación del consumo de energía diseñados en un esquema simple de oferta-demanda.

En este contexto muchos paradigmas que establecían la relación entre el consumo de energía y el desarrollo económico, se desmoronaron progresivamente. Así por ejemplo, la afirmación que señalaba que el crecimiento económico requería necesariamente de un aumento en el consumo de energía, y que fue un lineamiento para los planificadores energéticos de antes de la llamada crisis petrolera, actualmente está prácticamente desechada.

Esta noción tenía sus bases en el crecimiento económico que después de la segunda guerra mundial tuvieron los llamados países desarrollados. En este sentido, el crecimiento en el Producto Interno Bruto de estos países, siempre se asociaba con un incremento en el consumo de energía. Sin embargo, "fue tan profundo el cambio, que entre 1973 y 1986 no hubo crecimiento en el uso de la energía en los Estados Unidos mientras que la economía creció en un 30%"<sup>1</sup>.

Por otro lado, la enorme diferencia que existe entre los países en vías de desarrollo y los industrializados a contribuido también a poner en evidencia que los modelos

---

<sup>1</sup> Goldemberg, Johanson, Reddy, Williams "Energy for a sustainable world". World Resources Institute. September 1987.

clásicos no siempre funcionan.

De esta manera, para el siguiente siglo, el 95% de la proyección del crecimiento en la población mundial tendrá lugar en los países en desarrollo<sup>2</sup>. Esta aseveración, aunada a la pobreza ancestral que la mayoría de estos países padecen, tendrá notables implicaciones en el consumo de energía. Sin embargo, no es posible argumentar un crecimiento económico basado en el uso intensivo de la energía como sucedió a mediados de siglo en los Estados Unidos de America y los países del occidente europeo, dado que un desarrollo de este tipo en la utilización de la energía tendría un costo muy elevado.

En este contexto, Goldemberg, Johanson, Reddy y Williams, han estimado que "si el patrón de consumo de los años setentas persistiera, el consumo promedio per capita del uso comercial de la energía en los países en desarrollo crecería de 0.55 kWh en 1980 a 2.3 kWh en el 2020. ...el incremento total en el consumo de energía predecido para estos países sería equivalente a 1.3 veces el consumo total de energía en el mundo de 1980, <o dicho de otra forma>, 3 veces la producción total de petróleo, 5 veces la producción de carbón, cerca de 9 veces la producción de bioenergía, o 60 veces la producción nuclear."<sup>3</sup>

Si a estos argumentos se añade que la mayoría de los

---

2 Goldemberg, Johanson, Reddy, Williams "Energy for development". World Resources Institute. September 1987. p.v.

3 Goldemberg op cit p.2

países en vías de desarrollo importan petróleo o carbón como elementos básicos en la producción de energía, la consecuencia inmediata de esta dependencia energética se traduciría en un aumento de sus agobiantes deudas externas.

La problemática descrita ha estimulado el desarrollo de nuevos metodos de análisis del consumo de energía y de proyecciones o escenarios basados en los usos finales de ésta.

El principio de estas metodologías consiste en la construcción de un esquema de consumo de energía a partir de las necesidades básicas de los diferentes sectores, las posibles fuentes de energía que puedan cubrir de una manera más eficiente estas necesidades, la mezcla e interrelación de las actividades económicas según sus usos finales y las tecnologías necesarias para proveer dicha energía.

Este esquema de análisis genera diversas matrices de oferta y demanda de energía, las cuales son muy diferentes a las tradicionales y que en términos generales, permite construir escenarios de desarrollo donde los países dependientes pueden satisfacer las necesidades básicas de su población y aumentar los estándares de vida sin un incremento significativo en el consumo per cápita de energía.

El modelo referido implica como uno de sus pilares fundamentales la búsqueda de la utilización cada vez más eficiente de los recursos energéticos y la instauración de políticas de ahorro de energía.

Por ejemplo en el caso de la electricidad, la expansión de un sistema eléctrico es, además de costosa, muy compleja. En este sentido, ..." el Banco Mundial estimó que se hubiera requerido de una inversión de 60 billones de dólares (en términos estadounidenses, es decir  $10^9$  dólares) anuales en suministro de energía eléctrica entre 1982 y 1989 para cubrir la demanda proyectada de los países del tercer mundo, lo cual hubiera significado el 2% de sus Productos Internos Brutos... "4. En contraste, se puede satisfacer la demanda de energía eléctrica, instrumentando políticas de ahorro de energía, lo cual es mucho más costeable.

De esta manera se puede concluir que el uso de la energía no es un fin en si mismo y que su utilidad se deriva de los innumerables servicios, tanto directos como indirectos, que se traducen finalmente en una mejor calidad de vida. De acuerdo con este planteamiento, el análisis por usos finales de la energía tiene como objetivo examinar los patrones detallados de su consumo, cómo y por quien se utilizan las diferentes formas de ésta, y cómo deberán planearse para el futuro las normas de consumo, con el fin de explorar las eventuales modificaciones de los sistemas de energía que puedan facilitar el desarrollo económico-social.

---

4 Geller Howard S. "Improving End-Use electrical efficiency options for developing countries. The World Bank. Sept 1986. Washington D.C.

## 2. Importancia de la iluminación.

La iluminación constituyó el primer uso importante de la electricidad, cuando ésta se introdujo hace apenas un siglo. Actualmente, a pesar de la gran variedad de tareas que se realizan utilizando alguna tecnología eléctrica, la iluminación sigue siendo una de las fundamentales.

En México la primera planta generadora de electricidad que permitió producir iluminación eléctrica, comenzó a funcionar a principios de siglo. Para 1989 el país generaba 110103 Gwh brutos al año, (tomando en cuenta 372 Gwh de Laguna Verde) siendo 22% hidroeléctricos, 59% de vapor, 6.5% de ciclo combinado, 0.6% de turbogas, 0.1 % de combustión interna, 4.3% de geotermia y 7.2% de carbón.

En los países europeos la iluminación representa entre el 8 y el 17% del consumo total de la electricidad y en los Estados Unidos aproximadamente el 20%<sup>5</sup>

Para México se estima una cifra de poco más del 20% lo cual significa "más de la generación bruta de seis centrales con capacidad de 500 MW cada una, funcionando con un factor de planta del 60% sin considerar las pérdidas de transmisión y distribución"<sup>6</sup>.

---

5 Schneider Thomas R. "Lighting the future "EPRIJournal Junio 1984

Una de las características de la iluminación es su crecimiento en función del aumento en la demanda de energía eléctrica y su contribución significativa al pico de demanda.

En este contexto, la iluminación residencial, se concentra en las horas pico y la tecnología más utilizada es la lámpara incandescente.

En contraste, en el caso del sector comercial y público la iluminación es más constante durante el día, contribuyendo poco al pico de demanda. En este sector existen diversos tipos de usuarios, sin embargo considerando solamente los más importantes, se puede afirmar que en las oficinas y en los grandes comercios dominan las lámparas de tipo fluorescente.

Finalmente, en relación a la iluminación industrial, esta demanda energía constante durante ciertas horas del día, pero no participa de manera significativa en las horas de consumo máximo.

---

7 Dutt, op cit "En ausencia de estudios sobre los usos finales de la electricidad en Mexico, se estima la participación de la iluminación al consumo total de la siguiente manera. La tarifa 1 de la electricidad representa el consumo doméstico y la tarifa 5 se refiere al alumbrado público. Supongamos que las tarifas 2 y 3 se refieren a los sectores comercial y público. Con los datos de la Comisión Federal de Electricidad del consumo según tarifa de electricidad en 1987, se nota que la tarifa 1 representa el 20.3% del consumo total. Las tarifas 2 y 3 el 8.8% y el resto suma el 68.1% del consumo total. Supongamos que la iluminación representa el 30% del consumo doméstico, el 70% de las tarifas 2 y 3, el 100% de la tarifa 5 y el 8% del consumo de las demás tarifas. Así la participación de la iluminación es  $20.3 \times 8.8 + 1.0 \times 2.8 + 0.08 \times 68.1$ , es decir el 20.5% del consumo total de electricidad.

Además de los usos mencionados, es conveniente destacar la iluminación pública y la decorativa (anuncios en las calles, por ejemplo) que también contribuyen al pico de demanda diaria de energía eléctrica.

Evidentemente, pensar en un cambio de fuente de energía para la iluminación es imposible. La electricidad es por excelencia el mejor energético para este uso.

Por esta razón es necesario el estudio de la rentabilidad de un cambio tecnológico en la perspectiva del ahorro de energía. Para analizar las posibilidades de cambio de tecnología para la iluminación eléctrica se requiere, además de conocer la tecnología más eficiente, reconocer la existencia de dos puntos de vista en el proceso del cambio. Uno, el del usuario, que deberá realizar una inversión inicial y por lo tanto estar convencido de la factibilidad económica del cambio y otro, el de la empresa eléctrica, que podrá diferir la construcción de una central de generación eléctrica si el ahorro es real. Obviamente, la ventaja final de un cambio de este tipo debe visualizarse en el marco de un beneficio para la sociedad en su conjunto, si se buscan las formas que permitan a toda la población alcanzar o mantener un nivel de vida justo.

El objetivo de este trabajo es conocer el potencial de ahorro de energía para la iluminación residencial y comercial, tomando en consideración las condiciones y características del usuario y de la compañía generadora.



# CAPITULO I

## TECNOLOGIA DE LA ILUMINACION

# I. T E C N O L O G I A   D E   L A   I L U M I N A C I O N

## I.1. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA LUZ.

La luz corresponde a la radiación electromagnética en la banda angosta de frecuencias de alrededor de los 380 hasta los 760 Nanómetros. Es decir, del espectro de radiación que actualmente se conoce que va desde los rayos gama (con una longitud de onda de  $10^{-13}$  metros) hasta la corriente alterna (donde su longitud es de 4988 Km), el ojo humano es solamente sensible a la energía electromagnética contenida dentro de los límites del llamado espectro visible (ver figura 1.1).

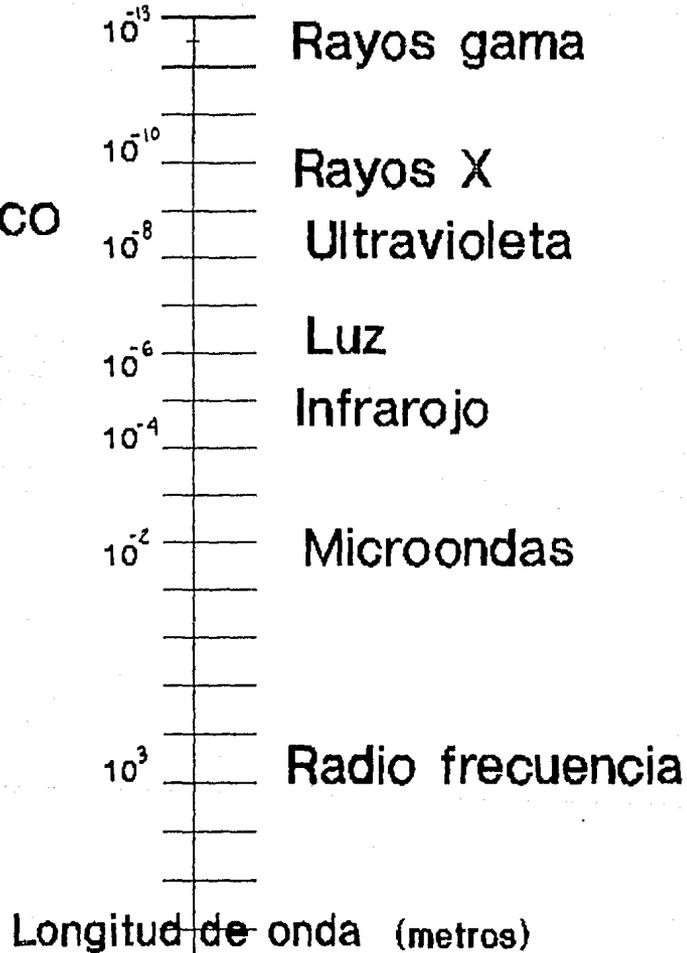
Dependiendo de la longitud de onda, la luz tendrá cierto color. Así la energía en el extremo de las cortas longitudes de onda del espectro visible (hasta aproximadamente los 450 nm) produce la sensación del color violeta, mientras que la región del espectro de largas longitudes de onda produce la del color rojo.

El espectro de una fuente de luz puede ser continuo, incluyendo todas las longitudes de onda visual o puede ser una línea o banda espectral conteniendo sólo una o unos pocos grupos de longitudes de onda. Un espectro de energía uniforme, es decir, que posee en igual cantidad todas las longitudes de onda visual, produce la luz blanca. La luz del mediodía se aproxima a un espectro de este tipo.

Es comunmente usado el término temperatura del color

FIGURA 1.1

# ESPECTRO ELECTROMAGNETICO



para describir una fuente de luz. Este término se refiere a la comparación de la radiación de una fuente con la de un cuerpo negro. Este último tiene su máximo de radiación en diferentes longitudes de onda dependiendo de su temperatura. Así el color de la llama de una vela es similar a la de un cuerpo negro calentado a  $1800^{\circ}\text{K}$ . Se dice entonces que la llama de una vela tiene una temperatura de color de  $1800^{\circ}\text{K}$ .

Además de estas características o formas de medición de la luz, existen otras de suma importancia. Por ejemplo, la intensidad luminosa, el flujo luminoso y la iluminancia o iluminación.

La intensidad luminosa se define como la densidad de la luz dentro de un ángulo sólido pequeño en una dirección determinada. La unidad característica de medición es la candela cuyo valor está determinado por la luz emitida por un cuerpo negro a la temperatura de una vela, en determinada dirección.

El flujo luminoso medido en lúmenes, mide la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa de una candela en un ángulo sólido de una unidad. La iluminación es la densidad de flujo luminoso sobre una superficie, es decir el número de lúmenes por unidad de área.

El proceso de percepción de la luz por el ojo humano depende de las características de la luz determinadas por la cantidad y la calidad de esta. Así existen diferentes niveles óptimos de iluminación según la tarea a realizar, pero también la buena calidad de la luz determinada

principalmente por el deslumbramiento, el brillo, la difusión y el color, son de suma importancia.

### **Calidad de la luz.**

Los factores a tomar en cuenta en la calidad del alumbrado son muy diversos, sin embargo, como se mencionó, los más importantes son: a) el deslumbramiento, que a su vez depende del brillo de una fuente de luz, del tamaño de la fuente, del contraste de brillo y del tiempo de funcionamiento; b) la relación de brillos, que es la diferencia entre el brillo de diferentes objetos o lugares que están contenidos en el campo de la visión; c) la difusión, que es el fenómeno que provoca que la luz provenga de diferentes direcciones y no sólo de una y d) el color, que se mide mediante las normas establecidas por el Consejo Internacional de la Iluminación y el índice se denomina el índice de rendimiento del color"<sup>1</sup>. En realidad, la iluminación, que es la que determina el contraste es la propiedad más importante en la mayoría de las tareas visuales"

### **Nivel de iluminación**

Existen ciertas exigencias básicas de iluminación que varían según la naturaleza de la actividad que se realice y son función de la dificultad de la tarea visual. Así, es muy distinta la iluminación que se requiere para una

<sup>1</sup> Dutt "Alternativas tecnológicas para la eficiencia energética en la iluminación. Ponencia presentada en el X Seminario Nacional sobre uso racional de la energía. México D.F. Nov.1989.

conversación social que para una tarea quirúrgica. Los niveles adecuados de la iluminación están establecidos por Asociaciones de Ingenieros de la Iluminación y más recientemente por el Consejo Internacional sobre la Iluminación integrado por varios países europeos y con sede en Viena.

En general existen dos maneras para disminuir el nivel de la iluminación, sin afectar el confort. Una es el aumento de la iluminación específica para la tarea visual y la otra, un mayor aprovechamiento de la luz natural. Sin embargo, para este trabajo, se considerará que el nivel de la iluminación artificial ya está establecido y sobre él se ajustarán las alternativas tecnológicas.

## I.2. LAMPARAS

La finalidad de una fuente luminosa es la producción de luz. La eficiencia con la que se genera esta luz está establecida por el cociente que resulta de dividir la emisión luminosa en lúmenes, entre la potencia consumida en watts. Si se pudiese construir una fuente que radiara toda la energía que consumiese como luz monocromática amarilla-verdosa, la región de máxima sensibilidad del ojo humano, produciría aproximadamente 680 lúmenes por cada watt de potencia consumida<sup>2</sup>, así mismo, el límite teórico para la

---

<sup>2</sup> Westinghouse, Manual de luminotecnia. Ediciones Hache-efe, Buenos Aires 1979.

producción de luz blanca es de 350 lúmenes por watt<sup>3</sup>. En comparación una lámpara incandescente tiene tan sólo un rendimiento menor a los 20 lúmenes por watt.

Como menciona Dutt, la lámpara es el elemento crítico en el sistema de alumbrado. Su costo y vida útil son relativamente bajos en comparación con los del resto del sistema de iluminación. Distintos tipos de lámparas muestran una gran variación en su eficiencia. Sin embargo, no necesariamente una lámpara muy eficiente es buena para determinada aplicación, por ello es indispensable relacionar de manera óptima la eficacia de una lámpara y la tarea a realizar bajo dicha fuente de luz.

Las lámparas se pueden dividir en tres grupos fundamentales, las incandescentes, las fluorescentes y las de descarga de alta intensidad.

Las lámparas incandescentes son las más ineficientes. Producen luz debido al paso de corriente eléctrica a través de un filamento calentado hasta la incandescencia dentro de un bulbo al vacío. Una vez que el filamento llega a la incandescencia, el 90% de la energía producida se desperdicia como calor. Por si esto fuera poco, conforme aumenta la vida de la lámpara, pequeñas partículas del material del filamento se depositan en la superficie interior del bulbo, evitando que la luz atraviese el material y por tanto disminuyendo la cantidad de luz que sale de la lámpara en un

---

<sup>3</sup> Berman s, et al "Lighting systems research" FY 1988 Annual report Center for Building Science , Applied Science Division, Lawrence Berkeley Laboratory. University of California, Berkeley. 1989

20%<sup>4</sup>.

Las lámparas fluorescentes son más eficientes que las incandescentes. Producen luz por la fluorescencia de una capa de fósforo con la cual está revestida la superficie interna de la lámpara. La fosforescencia es activada por la producción de luz ultravioleta que genera una descarga eléctrica en el gas interior del tubo. Debido a que este tipo de lámparas pierden muy poca energía por la transferencia de calor, son hasta cinco veces más eficientes que las incandescentes y además tienen una vida más larga.

Aun más eficientes que las fluorescentes son las lámparas de descarga de alta intensidad. Este tipo de lámpara consiste en un tubo de descarga con dos electrodos en donde se vaporiza y ioniza un metal que conduce la corriente. Existen tres tipos principales de lámparas de descarga de alta intensidad: vapor de mercurio, haluros metálicos y sodio de alta presión.

La figura 1.2 muestra como ha venido aumentando la eficiencia de las lámparas conforme se ha desarrollado la tecnología.

A continuación se analizarán más detalladamente este tipo de lámparas, sus ventajas, problemas y avances tecnológicos hacia el ahorro de energía.

### I.2.1. Lámparas incandescentes.

La lámpara incandescente fue la primera fuente eléctrica luminosa que se inventó. "El invento de las lámparas incandescentes con filamento de carbón que fue realizado en 1879 por Edison en Estados Unidos y Swan en Inglaterra abrió la posibilidad de utilizar la energía eléctrica para el alumbrado interior, desplazando el alumbrado de gas"<sup>5</sup>. A partir de los años 20's el filamento de la lámpara dejó de ser de carbón, supliéndolo el de tungsteno, debido a que este último combina las propiedades de un alto punto de fusión y de evaporación lenta.

La lámpara incandescente tiene tres partes importantes, el bulbo, la base y el filamento. El bulbo tiene diferentes formas o tamaños dependiendo de su utilidad (ver figura 1.3). Naturalmente, cuanto más grande sea el bulbo más grande será el área sobre la cual se extenderá el tungsteno vaporizado del filamento a medida que la lámpara envejece. En cambio el espesor del depósito será menor y absorberá menos luz, con lo que será mejor el resultado final de la lámpara a lo largo de su vida. Sin embargo hay un límite respecto al tamaño desable del bulbo generalmente establecido entre su función y ciertas consideraciones económicas.

---

<sup>5</sup> Viqueira Notas clase pl4.

FIGURA 1.3

### TIPOS DE BULBOS LAMPARAS INCANDESCENTES



S



f=FLAMA



G=Globo



A=Convencional



T=Tubo



PS=



PAR =PARABOLICO



R =Reflector

Ref. Manual de Lumnotecnia  
Westin

El bulbo puede ser transparente o de color blanco. Este último permite difundir en una forma mayor sin absorber una cantidad apreciable de luz.

El filamento es el elemento que produce la luz. Debido a que el filamento es una resistencia, por la Ley de Ohm, cuanto mayor sea la potencia de una lámpara, bajo una tensión dada, más alta será la corriente y por lo tanto, el diámetro del filamento deberá ser mayor. Por el contrario, mientras la tensión sea más alta a una potencia dada, más baja será la corriente y por lo tanto el diámetro del filamento deberá ser menor.

Por otro lado, debido a la Ley de Stefan-Boltzman ( $E = \sigma T^4$ ) cuanto más alta sea la temperatura de funcionamiento del filamento, mayor será la participación de la energía emitida en el espectro visible.

A mayor diámetro del filamento, mayor la temperatura a la cual puede funcionar sin tener la desventaja de evaporarse rápidamente y mientras mayor sea la temperatura, mayor la capacidad de emisión. Por esta razón las lámparas de potencias altas son más eficientes que las de bajas potencias, para una misma tensión. Esto explica que "por ejemplo una lámpara de servicio de alumbrado general de 120 volts y 100 watts produzca 55% más de luz que cuatro lámparas de 25 watts y 120 volts"<sup>6</sup>.

Actualmete la mayor parte de las lámparas tienen el

---

6 Manual de luminotecnica

filamento espiralizado debido sobre todo a su fortaleza desde el punto de vista mecánico, pero también a las razones antes expuestas que hacen que aumente la eficiencia de la lámpara. Por otro lado, la posición del filamento dentro de la lámpara también es importante en la eficiencia. Por ejemplo, un filamento montado en forma vertical, produce una emisión luminosa mucho más alta porque las corrientes de gas por convección elevan la temperatura del filamento además de que el casquillo absorbe menos luz. El ennegrecimiento de la lámpara queda más localizado y el mantenimiento de lúmenes es más alto a lo largo de la vida de las lámparas.

Las primeras lámparas incandescentes se hicieron con bulbos al vacío. Más tarde se descubrió que un gas inerte dentro del bulbo podía retardar la evaporación del tungsteno. Actualmente existen lámparas al vacío y lámparas que contienen gases de relleno, que comúnmente son el nitrógeno y el argón. La conveniencia de la presencia o no de gas en una lámpara depende de una relación entre la superficie del filamento su masa y su volumen, debido a pérdidas por convección y conducción que se presentan en los bulbos rellenos y que no se dan en las lámparas al vacío.

Estas consideraciones hacen ver que la mejor manera de aumentar la eficiencia de una lámpara incandescente es disminuyendo las pérdidas de calor del filamento, buscando aumentar su temperatura. Sin embargo, en la actualidad se

está muy lejos de alcanzar la eficiencia óptima. El límite teórico, que corresponde a la temperatura de fundición del tungsteno, hasta el cual se puede llegar con una lámpara de este tipo es de 53 lúmenes por watt que está bastante lejano a la eficiencia de las lámparas actuales, que es de 12 a 17 lúmenes por watt.

### **Algunas alternativas en el ahorro de energía.**

Para avanzar en el aumento de la eficiencia de este tipo de lámparas se han probado otros gases de relleno de los bulbos como el gas kriptón que permite disminuir las pérdidas de calor y se han diseñado filamentos que tengan menos contacto en los soportes, sin embargo se ha logrado mayor éxito con el diseño de "una lámpara dentro de otra", con películas reflectantes en el infrarrojo y con el uso de lámparas de bajo voltaje.

#### **a) Lámpara dentro de otra.**

En estas lámparas, el filamento se coloca en una pequeña cápsula de vidrio que contiene un gas halógeno, el cual se encuentra dentro de otro bulbo. Con este tipo de lámparas se aumenta la eficiencia en un 10%. Si además se mejora el diseño del reflector, pueden llegar a aumentar mucho más, pudiéndose remplazar lámparas de 150 watts por lámparas de 90 watts sin disminuir el nivel de iluminación.

Adicionalmente, la vida de estas lámparas es también mayor a las incandescentes normales.

**b) Película reflectante en el infrarrojo.**

Debido a que la mayor parte de la energía que desperdicia una lámpara incandescente es por radiación infrarroja, se presenta esta alternativa cuya base es reflejar al interior esta radiación infrarroja para aumentar la temperatura del filamento, sin afectar la transmisión de la luz visible. La colocación de una película de este tipo en el interior de un bulbo incandescente aumenta en un 50% la luz generada.

Actualmente son muy pocos los fabricantes de este tipo de lámparas.

Si se combinaran el diseño de la "lámpara dentro de otra" y de la película reflectante en el infrarrojo, aumentaría la eficacia y disminuirían los costos debido a que esta última sólo se colocaría en el encapsulado. Esta tecnología aun está en desarrollo.

**c) Lámparas de bajo voltaje.**

Tienen utilidad para la iluminación de aparadores museos, etc. donde actualmente se utilizan reflectores incandescentes. Al tener un voltaje de funcionamiento típico de 12 volts se pueden diseñar en forma compacta. Trabajan como una fuente puntual, de tal manera que se pueden emplear reflectores que permitan un mejor nivel de iluminación. Una lámpara de este tipo, denominada MR16 de 75 watts

puede reemplazar un reflector de 150 watts, proporcionando el mismo nivel de iluminación a distancias de entre 3 y 5 metros del objeto a iluminar.

### **I.2.2 Lámparas fluorescentes.**

La lámpara fluorescente fue desarrollada en 1938 y hasta nuestros días es una de las más utilizadas para iluminar grandes áreas exteriores e interiores. Es una fuente de descarga eléctrica que hace uso de la energía ultravioleta generada por un vapor de mercurio en un gas inerte (argón, kriptón o neon) a baja presión, para activar un revestimiento de fósforo depositado sobre la superficie interna de un bulbo de vidrio. De esta manera, un flujo de electrones se desplaza a gran velocidad de un electrodo a otro y las colisiones entre estos electrones y los átomos de mercurio que se encuentran en su camino, producen un estado de excitación cuyo resultado es la radiación de luz ultravioleta. El 90% de la luz se produce por la activación de los polvos fluorescentes y el otro restante por las líneas visibles del espectro del arco de mercurio.

Este tipo de lámparas, designadas por la mayoría de los fabricantes como "tipo F" tienen diámetros que van desde los 16 mm (5/8 de pulgada, designadas como T-5) hasta los 54mm 17/8 de pulgada y llamadas T-17).

Todas las lámparas que involucran una descarga eléctrica requieren de un balastro para mantener una

operación estable, debido a que necesitan un alto voltaje para encenderse y uno mucho menor para mantenerse en operación. El balastro provee el voltaje inicial y después mantiene la corriente en la lámpara a un nivel predeterminado.

Existen tres diferentes tipos de lámparas fluorescentes que varían por su funcionamiento y no se diferencian en forma importante por su consumo de energía: las de precalentamiento, las de arranque rápido y las de arranque instantáneo, cada una de ellas requiere de un balastro específico.

En los sistemas de lámparas fluorescentes de precalentamiento o encendido normal se requiere el uso de un arrancador que suministre una corriente a través del electrodo que hay en cada extremo de la lámpara. El periodo que transcurre entre el inicio del calentamiento de los electrodos y la generación del arco de mercurio, son los segundos que tarda una lámpara de este tipo en emitir luz, una vez que se enciende. Durante el encendido, el balastro regula el flujo de corriente a un valor calibrado para un adecuado calentamiento de los electrodos.

Las lámparas fluorescentes de arranque rápido difieren de las anteriores en que la tensión de calentamiento es suministrada por un devanado especial del balastro en forma continua en comparación con los circuitos de arranque por precalentamiento en que el voltaje de calentamiento de los cátodos no existe después de la formación del arco. Así no

hay ningún interruptor para abrir el circuito cuando el arco de mercurio se ha generado. El circuito de arranque rápido suministra una pequeña corriente de calentamiento, aun cuando la lámpara se encuentre operando. El arranque es más rápido que en las lámparas de precalentamiento y se verifica en menos de un segundo bajo condiciones normales.

Los sistemas de encendido instantáneo no necesitan un arrancador ya que el balastro suministra un voltaje lo suficientemente alto como para producir el arco en forma instantánea.

Además existen las lámparas de alta luminosidad (H.O) y las de muy alta luminosidad (V.H.O.) que son de arranque rápido pero están diseñadas para trabajar en interiores y exteriores y producen un 45% más de luz que las normales. Las segundas trabajan a 1500 miliamperes y el funcionamiento más eficiente es cuando el vapor de mercurio alcanza de 40 a 45 grados centígrados.

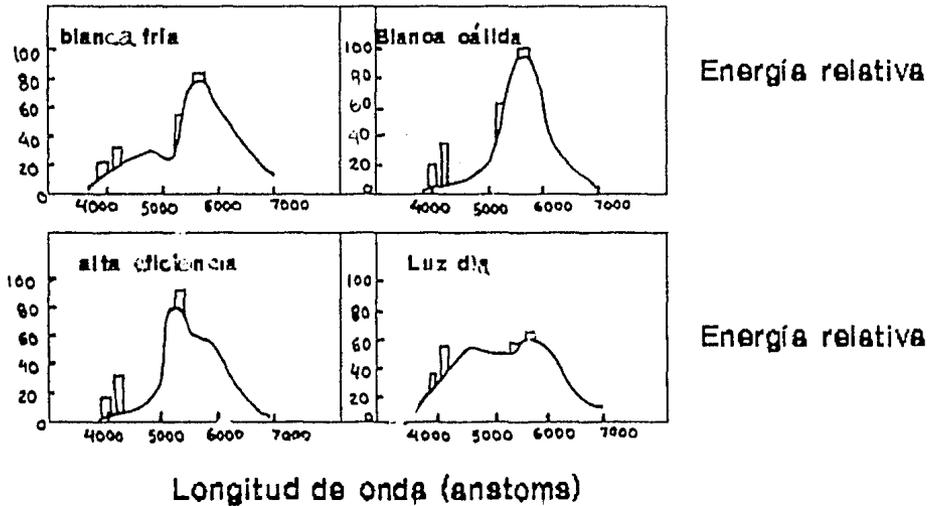
La curva de distribución de energía espectral de este tipo de lámparas muestra un espectro continuo para la radiación producida por el fósforo y unas bandas o líneas que son generadas por el arco de mercurio (ver figura 1.4).

Es importante mencionar, que al igual que las incandescentes, la emisión luminosa de una lámpara fluorescente disminuye con el tiempo. En la figura 1.5 se muestra el decrecimiento en la iluminación de una lámpara de este tipo durante las primeras cien horas de servicio. La depreciación en la emisión luminosa, es debido

FIGURA 1.4

## DISTRIBUCION ESPECTRAL DE LA ENERGIA PARA LAMPARAS FLUORESCENTES

Energía relativa para lámparas de la misma potencia



Ref. Manual de Luminotecnia  
Westinhouse

principalmente a un deterioro gradual del polvo de fósforo y a un ennegrecimiento del interior del tubo, principalmente en sus extremos, producida por el depósito de mezcla emisiva de los electrodos en esta superficie.

Otros efectos en el funcionamiento de las lámparas fluorescentes son producidos por la temperatura de la pared del bulbo y por lo tanto la del ambiente (la luz emitida decrece un 1% por cada medio grado de descenso de la temperatura del bulbo), por la humedad atmosférica (la carga electrostática sobre la parte externa del bulbo, afecta la tensión requerida para que salte el arco de mercurio), por la variación en el voltaje de alimentación (acortando la vida de la lámpara) y por variaciones en la frecuencia (afectando principalmente los balastos).

Como una pequeña desventaja de este tipo de lámparas, es importante señalar que prácticamente con cualquier balastro electromagnético, es casi inevitable la presencia de algunas frecuencias audibles. Esto hace que los balastos generen un zumbido que en algunos casos puede ser molesto<sup>7</sup>.

---

7 N del A. En la bibliografía consultada no se menciona si este zumbido puede llegar o no a ser dañino para la salud.

## **Algunas alternativas en el ahorro de energía.**

### **a) Balastos.**

Los balastos electromagnéticos convencionales en la operación normal absorben del 25 al 35% de energía del total del sistema lámpara balastro<sup>8</sup>. Los avances de la electrónica del estado sólido, dieron la posibilidad de construir balastos electrónicos que además de disminuir las pérdidas de energía debidas al propio balastro, permiten que las lámparas funcionen a una frecuencia de 30000 Hz, donde las eficacias de las lámparas mismas son de 10 a 15% mayores que a 60Hz, que es como funcionan con balastos convencionales. En total, la eficiencia del sistema lámpara-balastro aumenta del 65 a 87 lúmenes por watt, equivalente a una disminución del 30% en el consumo energético con el mismo nivel de iluminación. Estas frecuencias son mayores al rango auditivo humano y no llegan a causar interferencia con las ondas de radio.

En el apéndice 3 se presentan algunas notas sobre el factor de potencia en los balastos.

### **b) Lámparas.**

Las lámparas fluorescentes tienen una eficiencia típica de 80 lúmenes por watt, lo cual está muy lejos de la eficacia teórica para la luz blanca de 350 lúmenes por watt. Las tres principales formas para aumentar la

<sup>8</sup>Berman s, et al "Lighting systems research" FY 1988 Annual report Center for Building Science, Applied Science Division, Lawrence Berkeley Laboratory. University of California, Berkeley. 1989

eficacia de estas lámparas son la disminución de pérdidas de energía en la absorción de luz ultravioleta, en los electrodos y en el revestimiento de fósforo. A continuación se mencionaran algunos avances en estos terrenos.

**c) Fósforos de alta intensidad.**

Como se ha explicado, la función del fósforo con el cual está revestida la superficie interior del tubo de la lámpara es la de absorber luz ultravioleta y emitir luz visible. La química de los fósforos afecta la eficiencia de conversión. Los fósforos usados tradicionalmente, de halofosfatos, emiten radiación en un rango amplio del espectro, mientras que nuevas mezclas de fósforos, llamados trifósforos emiten en regiones limitadas en el rojo, verde y azul. Combinando estos dos tipos de fósforos se puede mejorar la eficacia y el rendimiento del color.

Estos nuevos fósforos tienen además la capacidad de funcionar a mucho mayor densidad de potencia. Esto implica que se puede disminuir el tamaño del tubo de una lámpara de diámetro típico de 38mm.

**d) Fluorescentes compactas.**

La disminución en el tamaño de las lámparas fluorescentes ha permitido que se desarrollen lámparas de diámetro de 26mm (llamadas T8) y de 16mm (T5). Las eficiencias de las lámparas en comparación con las de 38mm

aumentan de 32.2 lúmenes por watt a 38.9 y 42.8 lúmenes por watt, para T8 y T5 respectivamente, utilizando un balastro convencional.

Además existen lámparas compactas fluorescentes con balastro incluido y que además son factibles de colocar en un "socket" convencional para incandescentes. Una lámpara de este tipo de 18 watts con balastro electromagnético puede sustituir a una incandescente de 60 watts sin disminuir la cantidad de luz emitida y con la misma potencia pero con balastro electrónico sustituye a una lámpara incandescente de entre 75 y 100 watts.

#### **Nuevas tecnologías en desarrollo.**

Los fósforos avanzados aumentan la eficiencia de conversión de la radiación ultravioleta a visible, pero antes de llegar al fósforo se pierde una parte de la radiación ultravioleta por el fenómeno de auto absorción. Investigadores del Lawrence Berkley Laboratory han mostrado dos maneras de disminuir las pérdidas debidas a la autoabsorción: el enriquecimiento isotópico y el campo magnético.

El enriquecimiento isotópico tiene como objetivo aumentar la radiación ultravioleta que llega al fósforo. El mercurio natural tiene siete isótopos estables, cuyos espectros de radiación en la ultravioleta difieren de uno a otro. Una variación en la composición natural de isótopos permitirá más canales de escape para la radiación resonante.

La posibilidad más prometedora es el enriquecimiento del isótopo  $^{196}\text{Hg}$ , la cual está bajo investigación en varios laboratorios de Estados Unidos.

El campo magnético es otra forma de aumentar la radiación ultravioleta que llega al fósforo. Un campo magnético de 600 Gauss aumenta la emisión de luz alrededor de un 6%. Está en estudio la manera de llevar a la práctica la aplicación de un campo magnético axial .

Otra manera de aumentar la eficacia de la conversión de radiación ultravioleta a visible es los llamados fósforos de dos fotones. Un fotón de luz ultravioleta contiene suficiente energía para generar dos fotones de luz visible, sin embargo con los fósforos actuales la conversión es prácticamente de uno a uno, es decir un fotón de UV a uno de visible. Esto también es una tecnología en estudio.

Una manera más de disminuir las pérdidas de energía en las lámparas fluorescentes es evitando el uso de electrodos. En este caso, el gas se excitaría con radiación a frecuencia de radio que sería suministrada desde el exterior. Esta es también una tecnología que se encuentra en estudio.

### **I.2.3. Descarga de Alta Intensidad.**

La primera lámpara de descarga de alta intensidad (DAI) fue inventada por Pete Cooper Hewitt en el año de 1901, siendo ésta una lámpara de vapor de mercurio; sin embargo la primera lámpara de vapor de mercurio similar a las que se

usan actualmente hizo su aparición en el año de 1934 en la potencia de 400 watts. Desde entonces este tipo de lámparas se ha incrementado.

En las lámparas de descarga de alta intensidad la energía lumínica se produce por el paso de una corriente eléctrica a través de un medio gaseoso, a diferencia de una lámpara incandescente que lo hace a través de un filamento. La aplicación de una tensión eléctrica ioniza el gas y permite que la corriente pase entre los electrodos colocados en ambos extremos del tubo. Los electrones que forman el arco de descarga se encuentran acelerados cuando entran en colisión con los átomos de mercurio, alterando temporalmente su estructura atómica. La luminosidad se genera por la energía desprendida por los átomos al volver a su estado estable. La luminosidad de estas lámparas depende de combinación de gases dentro del tubo de arco. Las partes principales de este tipo de lámparas son un tubo de arco en el cual se lleva a cabo la descarga, la combinación de gases en el interior de este tubo, una bombilla exterior rellena de nitrógeno que protege el tubo de arco y su montadura.

Este tipo de lámparas son fundamentalmente de cuatro tipos: de Mercurio (a alta y baja presión), de Haluros metálicos, de Sodio (también a alta y baja presión) y las mixtas.

Las lámparas de descarga de alta intensidad también requieren de balastro para funcionamiento.

La eficacia de la lámpara DAI de mercurio es comparable con la de las fluorescentes, pero las de haluros metálicos y

sodio de alta presión son mayores.

A pesar de que estas lámparas son las más eficientes, no son adecuadas para la mayoría de los usos debido a su alta potencia y a su bajo rendimiento del color. Además requieren de diez minutos o más para alcanzar su máxima luminosidad. Por estas razones su principal aplicación es el alumbrado público, los estacionamientos, los estadios deportivos y en algunos espacios interiores con alto techo donde se requiere de altos niveles de iluminación sin cambios en la demanda durante varias horas y donde el color no se juzga importante.

Las lámparas de mercurio emiten luz de color blanco-azul, las de sodio de alta presión tienen concentrado el espectro de emisión en el amarillo, las de baja presión sólo emiten en este color y los haluros metálicos brindan una luz blanca .

Las lámparas mixtas son una combinación entre incandescentes y de alta descarga. No necesitan balastro pues el filamento actúa como tal. Así, son lámparas autobalastadas con una eficiencia muy baja, que es de aproximadamente 25 lúmenes por watt.

Para ahorrar energía en este tipo de lámparas se tienen las siguientes posibilidades: reemplazar lámparas de vapor de mercurio y mixtas con las de sodio de alta presión y haluros metálicos, aplicaciones de sodio a baja presión, utilización de balastros electrónicos y la ampliación de las posibles aplicaciones de las DAI.

### **Reemplazo de mercurio por sodio de alta presión.**

La eficiencia de una lámpara de descarga de alta intensidad de mercurio es de alrededor de 50 lúmenes por watt, mientras que las de sodio de alta presión es de casi 100 lúmenes por watt. Sus características ópticas son comparables y esto hace que en la mayoría de los casos se pueden reemplazar, para conseguir un ahorro de energía, sin disminuir el nivel de iluminación. Por ejemplo, Sodio de Alta Intensidad de 150, 250 y 400 watts pueden reemplazar las de mercurio de 150, 250 y 1000 watts respectivamente.

### **Sodio de baja presión.**

Las lámparas de sodio de baja presión ofrecen una eficiencia todavía mayor que las de alta presión. Se han desarrollado lámparas de este tipo en un rango de potencia de 18 a 130 watts y con un eficacia de 200 lúmenes por watt, sin embargo su rendimiento de color no es bueno por lo tanto su aplicación se limita a aquellos usos donde el color no es importante.

### **Balastos.**

Se han desarrollado balastos que permitan funcionar a las lámparas DAI en dos niveles de potencia, lo cual abre la posibilidad de que las lámparas para alumbrado público funcionen en una potencia para las horas pico y en otra para aquellas horas donde la demanda es menor. Esto generaría un

ahorro de energía importante.

Otra forma de ahorro para este tipo de iluminación es el cambio de los balastos electromagnéticos por los electrónicos. sin embargo en contraste con las fluorescentes no se logran eficiencias en el sistema de descarga y el ahorro energético sólo corresponde a la disminución de las pérdidas dentro del balastro. En el laboratorio se han observado ahorros del 10% en el sistema lámpara-balastro<sup>9</sup>

#### Otras aplicaciones.

Para ampliar las aplicaciones de las lámparas de descarga de alta intensidad de sodio de alta presión y de haluros metálicos deben mejorarse sus principales inconvenientes, es decir, la potencia, el rendimiento del color y el tiempo de arranque. Actualmente se han desarrollado lámparas de haluros metálicos de 32, 70 y 100 watts, con 2500, 5000 y 8500 lúmenes respectivamente, lo cual representa un avance, pues hasta hace poco sólo estaban disponibles lámparas de cientos de watts para la generación de 10000 hasta 14000 lúmenes. Adicionalmente estas nuevas fuentes producen una luz blanca semejante a la de las lámparas incandescentes de potencia mayor a los 100 watts y el nivel de iluminación está en un rango donde no existen lámparas fluorescentes compactas. Esto hace que representen una verdadera alternativa a las lámparas incandescentes de más de 100 watts de potencia.

<sup>9</sup> Dutt op cit.

Al mismo tiempo se han comercializado lámparas de sodio de alta presión para bajas potencias que también tienen un buen rendimiento de color y provee otra opción en el rango de iluminación de 2000 a 5000 lúmenes.

Sin embargo, a pesar de que el desarrollo de lámparas de este tipo para menor potencia amplía sus posibles aplicaciones, siguen siendo útiles cuando se requiere relativamente altos niveles de iluminación.

#### **En investigación.**

Al igual que en las fluorescentes, está bajo investigación la operación de las lámparas DAI sin electrodos, utilizando ondas de radio de alta frecuencia para lograr la descarga desde el exterior; esto permitiría que se utilizarán materiales que actualmente no son viables por el daño que causan a los electrodos. De esta manera se podrían operar estas lámparas con haluros metálicos sin mercurio ni sodio y con el uso de aditivos se podrían generar colores desables y podrían disminuir la intensidad sin un cambio en el color.

"En operación sin electrodos los investigadores del Lawrence Berkley Laboratory han logrado niveles de potencia de cuatro watts por centímetro de descarga, un nivel intermedio entre la fluorescente de 0.4 W/cm y las DAI de 40W/cm . Una ventaja de estas lámparas denominadas de descarga a

intensidad intermedia es su capacidad de encendido instantaneo. Actualmente se intenta aumentar la potencia de estas lámparas.

### I.3 LUMINARIOS

Para las lámparas fluorescentes y las de descarga de alta intensidad, además de la propia lámpara y del balastro, existe una tercera forma de aumentar la eficiencia del sistema de iluminación. Esta se refiere al luminario.

El luminario es la parte del sistema en donde va colocada la lámpara y es la que dirigirá y difundirá gran parte de la luz que se genera. El diseño del luminario tiene gran importancia en la eficiente distribución de la luz. Al índice de funcionamiento del luminario se le llama coeficiente de utilización y depende de la reflectancia del material, la transmisividad del difusor, la geometría, la reflectancia de las paredes y del techo. De esta manera, luminarios con mayor reflectancia y transmisividad logran que una lámpara de menor potencia proporcione el nivel de luz de una de mayor wattage, permitiendo así un ahorro de energía.

Existen muy diversos tipos de luminarios dependiendo del tipo de lámpara que se va a utilizar y también de la tarea a realizar. En la actualidad, uno de los luminarios más eficiente es el reflejante o de espejo. La característica

que lo diferencia de los demás es que tiene una reflexión de tipo espejo en vez de difusa. Es decir, donde la dirección del rayo reflejado está casi perfectamente definido por la dirección del rayo incidente y no se presenta una reflexión en una gran cantidad de ángulos.

Así, un luminario convencional tiene un rendimiento (cuanto de la luz emitida llega al objeto de interés) de entre 50 y 60%, debido a que la dispersión angular impide que la luz reflejada se concentre sobre el área de interés, llegando incluso a generar problemas de ofuscamiento o deabsorción de la propia lámpara, al ser reflejada a regiones ajenas al espacio de trabajo.

En cambio la superficie espejada permite dirigir el haz de luz al área de interés, aumentando la eficiencia en esa dirección.

La selección de sistemas de lámparas y luminarios se hace con el uso de programas de cómputo que simulan los niveles de iluminación en la superficie de trabajo. Los programas están basados en mediciones de ambientes típicos de uso de los luminarios. "Se prevé un aumento de 25 a 40% en el coeficiente de utilización de la luz con mejoras en la geometría de la distribución de luz y con luminarios mejorados. La optimización de la distancia entre los luminarios y la distribución de la luz permitirá también ahorros en el alumbrado público.

#### I.4 CONTROL DE LA ILUMINACION.

Además de aumentar la eficiencia en las lámparas, los balastos y los luminarios, existe otra forma, que es mediante el control manual o automático del nivel de la iluminación, dependiendo de la tarea a realizar. Por mencionar un ejemplo, es común encontrar oficinas del sector público iluminadas en zonas y horarios que no son útiles por la simple razón de que sólo existe un interruptor para una zona grande de un edificio. El desperdicio de energía debido a este tipo de problemas es digno de tomarse en cuenta.

Para el alumbrado público, las necesidades de iluminación nocturna varían y esto se puede ser controlado por medios manuales, o automáticos mediante el uso de fotoceldas que funcionan según este el nivel de luz natural, adecuándose a los efectos de los cambios estacionales, tanto en la duración del día y la noche como de nubosidades. Un segundo nivel de control del alumbrado público se puede lograr con balastos que varían la demanda con la hora nocturna, según las necesidades, como ya se señaló.

En las oficinas es donde existen amplias oportunidades para el ahorro energético mediante sistemas de control. Existen por ejemplo controles con reloj, que apagan la mayoría de las luces a una hora marcada. O algunos más efectivos como los sensores de movimiento que pueden

detectar la presencia de personas en un cuarto y apagar la luz después de cierto tiempo que este se encuentra vacío. Otros sensores pueden funcionar con balastos electrónicos que permiten una variación en la potencia de lámparas fluorescentes, variando el nivel de iluminación en cada luminario dependiendo de la disponibilidad de luz natural. "Se pueden diseñar sistemas de alumbrado adecuados a las tareas, disminuyendo el nivel de iluminación general. Se puede combinar el sensor de movimiento con ajustes de acuerdo con la luz natural para lograr mayores ahorros. En una demostración del potencial de combinar estrategias de control en el piso 58 del World Trade Center en Nueva York se obtuvo un ahorro máximo de 52%.<sup>10</sup>

#### **I.5. EFECTOS EN LA SALUD DE LAS NUEVAS TECNOLOGIAS DE ILUMINACION.**

Es importante señalar que en una extensa serie de pruebas en la Universidad de California no se han mostrado efectos, negativos debido a las nuevas tecnologías de iluminación. Este tipo de investigación es fundamental seguirlo desarrollando, pues nunca el ahorro de energía puede ser más importante que la salud de los usuarios.

---

<sup>10</sup> Dutt op cit.



## **CAPITULO II**

# **LA GENERACION DE LA ELECTRICIDAD**

## II. LA GENERACION DE ELECTRICIDAD<sup>1</sup>.

El suministro de energía eléctrica tiene características que lo diferencian del suministro de otra clase de energías secundarias. Esta peculiaridad reside en que la "energía eléctrica no puede almacenarse económicamente en cantidades significativas por lo que la potencia eléctrica generada debe ser igual en cada instante a la potencia demandada por los consumidores más las pérdidas del sistema"<sup>2</sup>

En la sociedad moderna, la demanda de esta energía es extremadamente diversa, debido a la gran cantidad de usos finales, los equipos utilizados para satisfacerlos y sobre todo, los ritmos de trabajo diarios, semanales o anuales de una sociedad así como las variaciones estacionales.

Esta nueva situación conduce al establecimiento de patrones normales de curvas de carga, como se puede ver en la figura 2.1. De tal manera que se necesitan unidades generadoras de electricidad que operen a plena carga en forma prácticamente continua para cubrir la base de la curva, unidades que suministren energía eléctrica para abarcar la parte media de la curva y unidades que darán energía para cubrir los picos de la demanda y que evidentemente trabajarán pocas horas al día.

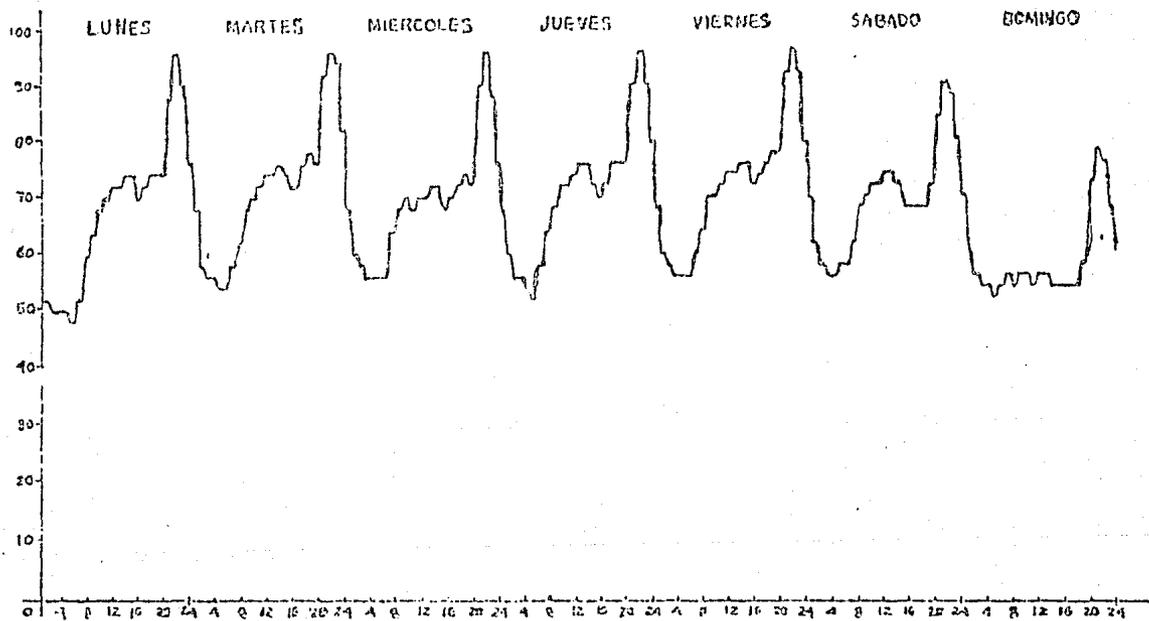
---

1 Este capítulo está basado en notas de clase del Ing. Jacinto Viqueira.

2 Viqueira J. Notas de clase Tema 2.

FIG. 2.1

CURVAS TÍPICAS DIARIAS EN PORCIENTO DE LA DEMANDA MÁXIMA



Ref. Notas de clase Ing. Viqueira.

Para suministrar entonces la potencia requerida, se dispone de una serie de unidades generadoras que cubrirán distintas partes de la curva de carga o dicho de otra manera abarcarán la demanda de manera diferenciada. "La combinación óptima de los distintos medios de generación de un sistema eléctrico constituye un problema principalmente de optimización económica: se trata de minimizar la suma de los costos de inversión y operación, mediante una mezcla óptima de los diferentes medios de generación, satisfaciendo la potencia y la energía eléctrica requeridas con una calidad adecuada del servicio."<sup>3</sup>

De esta manera, para poder calcular cual es el tipo de generación óptima para cubrir una parte de la curva de carga, deben calcularse los costos de dicha generación, tanto en inversión como en operación, mantenimiento y combustible<sup>4</sup>, en función del tiempo anual que será utilizada dicha central.

## II.1 COSTO DE GENERACION.

El Costo Anual Total (CAT) tomando en cuenta la inversión y operación de una planta generadora de electricidad, está dado por la suma de tres factores: el Costo Anual de Inversión (CAI), el costo fijo anual de operación (CFO), que involucra operación y mantenimiento

<sup>3</sup> Viqueira op cit.

<sup>4</sup> Aunque en este análisis, el costo del combustible queda incorporado en los costos de operación.

y el costo variable anual de operación (CVA), donde está incluido el costo del combustible y la eficiencia de la planta.

De esta manera el CAT se compone de un costo fijo anual, compuesto por el CAI y el CFO y uno variable, el CVA.

#### **Costo Anual de Inversión.**

El costo anual de inversión (CAI) por kilowatt instalado es el costo de la inversión inicial de la planta dividido en anualidades, por ello se calcula multiplicando la inversión bruta por kilowatt instalado por un factor de anualidad. Es decir:

$$CAI = P \{ d (1+d)^L / (1+d)^L - 1 \}$$

donde:

- CAI = Costo anual de inversión por kw instalado.
- P = Inversión bruta por kw instalado.
- d = Tasa de descuento.
- L = Vida útil de la unidad generadora en años.

Y donde la tasa de descuento es un índice que relaciona el valor del dinero en distintos tiempos con su valor en un periodo dado, para una inversión específica. Así dependiendo del valor de la tasa de descuento, la anualidad de la inversión será distinta.

#### **Costo fijo anual de operación.**

Es una cantidad fija que está determinada para cada tipo de unidad generadora e involucra el costo anual de

operación y mantenimiento y no incluye el gasto en combustible ni toma en cuenta la eficiencia de la planta.

#### Costo variable anual.

Es la multiplicación de los costos variables de operación por el número de horas que una unidad trabaja durante el año. De esta manera:

$$CVA = V (8760 * f)$$

donde:

CVA = Costo variable anual en Dls/Kw-año

V = Costo variable de operación en Dls/kWh

f = Factor de planta.

8760 = Número de horas en un año.

El factor de planta se define como el número de horas al año que la unidad generadora está en servicio en relación con el número total de horas en un año. Esta definición implica que la unidad generadora siempre funciona a plena carga. Otra forma de definición más general del factor de planta es la relación entre la energía generada por la unidad durante un año y la energía que se habría generado si la unidad hubiese trabajado a plena carga durante todas las horas del año.

#### Costo variable de operación.

Depende del costo del combustible utilizado por la unidad generadora, del consumo específico del combustible y del poder calorífico del combustible. Así:

$$V = ( U * E ) / C$$

donde:

V = Costo variable de operación en kWh  
 U = Precio unitario del combustible (Dls/u; u=lt ó Kg ó m<sup>3</sup>)  
 C = Poder calorífico del combustible (Kcal/u).  
 E = Consumo específico del combustible (Kcal/Kwh).

Visto de otra manera:

$$V = (\$E / \eta)$$

donde:

$\$E$  = Precio del Energético (Dls/kWh)  
 $\eta$  = Eficiencia (%)

Una vez que se tiene el costo total anual de una planta generadora de electricidad se puede construir una gráfica que muestre el costo de cada unidad en función del factor de planta o de las horas de funcionamiento anual de dicha unidad.

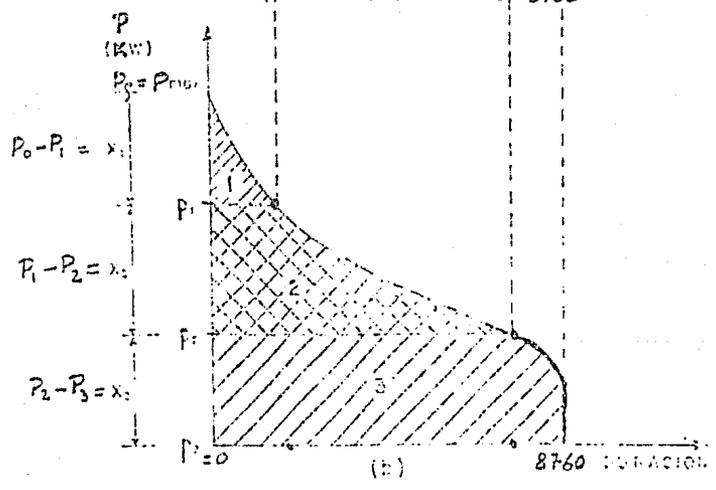
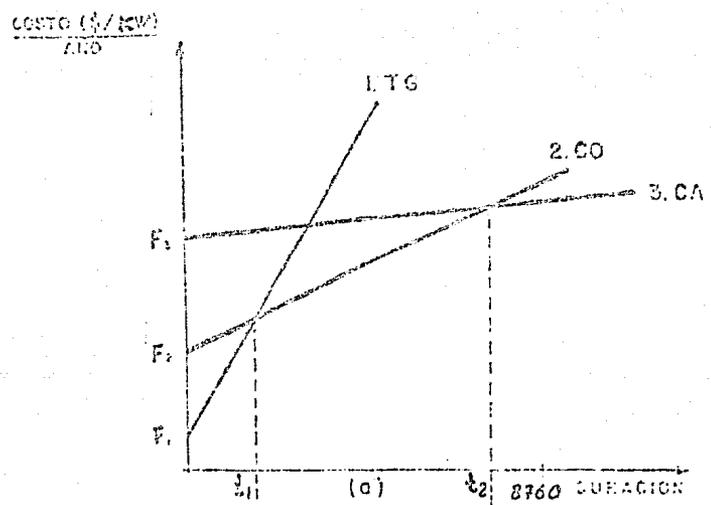
La ordenada al origen de cada recta corresponderá al costo fijo anual del tipo de unidad generadora, la pendiente es función de los costos variables de operación por kilowatt instalado y la variable independiente será el factor de planta.

Como se muestra en la figura 2.2, una gráfica de este tipo puede combinarse con la curva de carga obteniendo "una combinación óptima de capacidad de generación para satisfacer una demanda eléctrica determinada. Este método de análisis es una aplicación gráfica del método llamado punto de equilibrio"<sup>5</sup>.

De esta forma se puede observar que las unidades que tienen un menor costo para factores de planta pequeños

<sup>5</sup> Viqueira op cit.

FIGURA 2.2.



40

pueden satisfacer la demanda de pico, mientras que aquellas cuyo costo comienza a ser rentable para factores de planta mayores, corresponderán en forma óptima al suministro de base de las curvas de carga.

## II.2 COSTO DEL KILOWATT-HORA GENERADO.

El costo por kwh generado por un tipo de unidad está dado por el cociente de dividir el costo anual total por kW instalado (Dls/kW-año) entre la generación anual por kW instalado operando con un factor de planta dado (h/año). Es decir:

$$CKWH = CAT / Ga = ( CAI + CFO + CVA ) / Ga$$

donde:

CKWH = Costo del kwh generado operando con un factor de planta f.

Ga = Generación anual por kw instalado operando con un factor de planta f.

$$Ga = 8760 * f.$$

Esto significa que el costo del kwh generado es la suma de tres factores: el Costo anual de inversión en Dls/kwh (CAI/Ga), el Costo variable de operación que está determinado por el costo del combustible y la eficiencia de la planta ( $\$/E/\eta$ ) y el Costo fijo de operación que tiene que ver con la operación y el mantenimiento periódico de la planta, en Dls/kwh (CFO/Ga).

Es común encontrar cuadros de costo de generación que contienen tres factores cuya suma es el costo del kwh generado, a saber, la inversión, el combustible y la

operación y el mantenimiento<sup>6</sup>, todo presentado en \$/kWh. Esto equivale, en la metodología aquí planteada, al Costo de inversión anualizado entre la generación anual (CAI/Ga), al Costo variable de operación ( $CV=\$E/\eta$ ) y al Costo fijo de operación entre la generación anual (CFO/Ga), respectivamente.

### II.3 CALCULO DE COSTOS.

A continuación se presenta información de las principales plantas generadoras en el país (ver tabla 2.3). A partir de ésta se calcularán a) los costos anuales totales, b) la gráfica de estos costos en función del tiempo de funcionamiento anual y c) el costo del kWh generado para cada tipo de unidad.

#### a) Costos anuales totales.

A partir de los datos de la tabla 2.3 y utilizando la forma de cálculo que se presenta en las páginas anteriores, se calculan los costos anuales totales en función de la tasa de descuento.

Como era de esperarse, a medida que aumenta la tasa de descuento, mayor es el costo total anual de la planta generadora (ver figura 2.4). Sin embargo, existen variaciones para cada tasa. Así, en el caso de una tasa de 3% anual, la planta generadora más cara es la de combustóleo

<sup>6</sup> Comisión Federal de Electricidad así lo presenta.

## TABLA 2.3

## I. DATOS BASICOS

TIPO DE ENERGETICO	TIPO DE PLANTA	INVERSION BRUTA dls/kw	VIDA UTIL años	COSTO FIJO ANUAL DE OPERACION dls/Yw-año	PRECIO DEL ENERGETICO dls/Joul	PRECIO DEL ENERGETICO dls/kWh	EFICIENCIA %	FACTOR DE PLANTA
Combustoleo	T 2x350	744.1	30	8.15	2.08E-09 †	7.48E-03	0.314	0.65
Combustoleo	T 2x350	744.1	30	8.15	2.94E-09 ††	1.06E-02	0.314	0.65
Combustoleo	T 2x350	744.1	30	8.15	4.90E-09 †††	1.76E-02	0.314	0.65
Carbón	C 2x350	1137.9	30	10.36	1.64E-09	5.90E-03	0.290	0.65
Uranio Enr.	N 2x1000	1993.3	30	21.40	3.62E-10 †	1.30E-03	0.325	0.65
Uranio Enr.	N 1x1100	3425.0	30	37.22	3.40E-10 ††	3.02E-03	0.334	0.70
Gas natural	TG 1x30	361.9	15	5.34	2.81E-09	1.01E-02	0.243	0.13
Gas natural	CC 1x250	793.1	25	8.60	2.81E-09	1.01E-02	0.374	0.55
Hidro.	H 3x320 (3)	1209.7	50	1.28	--	---	--	0.4

† Precio mexicano del combustoleo

†† Precio internacional del combustoleo (19 dls/barril)

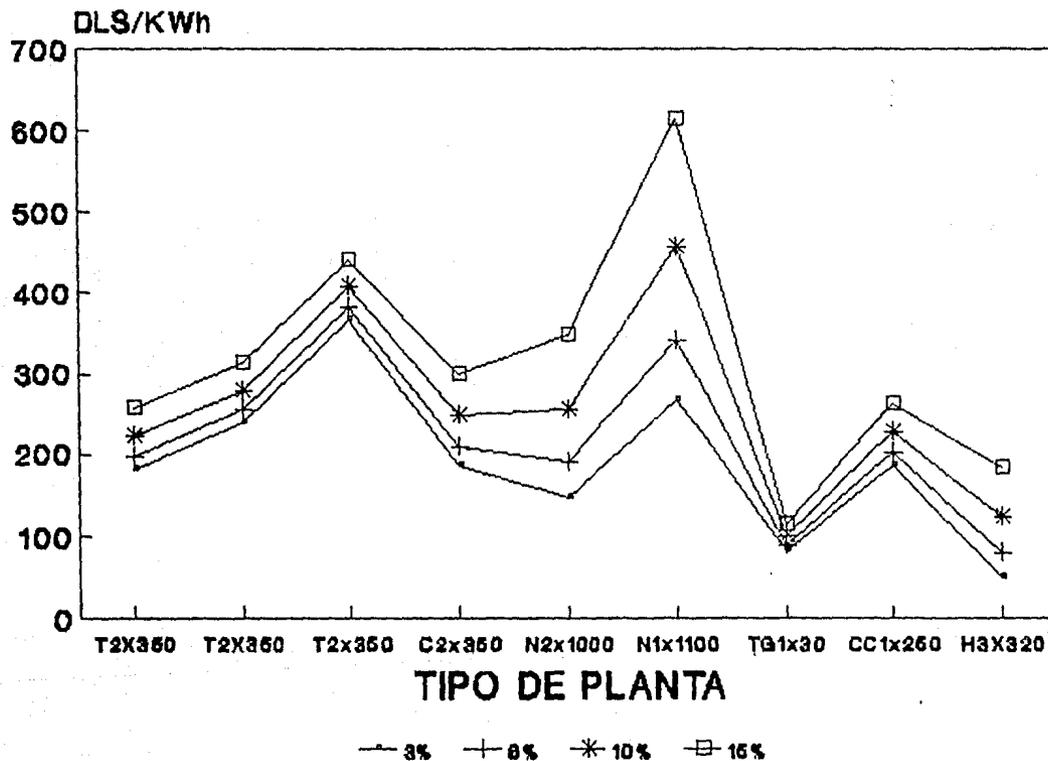
††† Precio internacional del combustoleo (30 dls/barril)

† Estimaciones de CFE

++ Datos EPRI

(3) Datos respectivos a la central electrica de Agua Milpa

## 2.4 COSTO TOTAL vs TASA DE DESCUENTO



T1	2X350	Termoeléctrica de combustóleo a precio nacional
T2	2X350	Termoeléctrica de combustóleo a 18 dólares/barril
T3	2X350	Termoeléctrica de combustóleo a 30 dólares/barril
C	2X350	Carboeléctrica
N	2X1000	Nucleoeléctrica con precios estimados de CFE
N	1X1100	Nucleoeléctrica con precios de EPRI
TG	1X30	Turbina de gas
CC	1X250	Ciclo combinado
H	3X320	Hidroeléctrica. Central eléctrica de Agua Milpa

52

a precio internacional, mientras que la más barata es la turbina de gas, (tablas 2.5).

Para una tasa de descuento del 6% se mantiene la misma relación. Mientras que en el caso de la de 10% la más cara resulta ser la nuclear calculada con los datos de EPRI.

Finalmente para una tasa de descuento del 15% , la más cara sigue siendo la nuclear, con los datos básicos que se utilizan.

#### b) Costos en función del factor de planta.

Como se puede observar en las gráficas que comienzan a partir de la figura 2.6, la fuente de generación más económica depende del factor de planta y de la tasa de descuento.

#### Tasa de descuento del 3%.

Para una tasa de descuento del 3%, la planta más económica hasta un factor de planta (f) de alrededor de 7% es la turbina de gas. Lo cual significa que para la generación de electricidad de 613 horas al año, la mejor opción en términos financieros es la turbina de gas. Evidentemente esto significa que este tipo de planta solamente es rentable para la generación de las horas más altas del pico de demanda de energía eléctrica. Para esta parte de la gráfica, después de la turbina de gas le siguen en orden ascendente, la termoeléctrica de combustóleo a precio nacional, la misma pero a precios de 18 dls por

## TABLAS 2.5

CALCULO DEL COSTO TOTAL ANUAL EN FUNCION DE LA TASA DE DESCUENT  
 PARA UN FACTOR DE PLANTA FIJO /dado en la tabla de datos basico

TASA DE DESCUENTO 0.03				
TIPO DE PLANTA	COSTO ANUAL DE INVERSION dls/kw-año	COSTO VARIABLE ANUAL dls/kw-año	COSTO FIJO ANUAL DE OPERACION dls/kw-año	COSTO TOTAL ANUAL dls/kw-año
T 2x350	37,963	135.7	8.15	181.83
T 2x350	77,963	191.9	8.15	238.04
T 2x350	37,963	319.9	8.15	365.99
C 2x350	58,055	115.9	10.36	184.34
N 2x1000	101,697	22.8	21.40	145.93
N 1x1100	174,741	55.5	37.22	267.48
TG 1x30	30,315	45.6	5.34	81.29
CC 1x250	45,546	130.5	8.60	184.60
H 3x320	47,016		1.28	48.30

TASA DE DESCUENTO 0.06				
TIPO DE PLANTA	COSTO ANUAL DE INVERSION dls/kw-año	COSTO VARIABLE ANUAL dls/kw-año	COSTO FIJO ANUAL DE OPERACION dls/kw-año	COSTO TOTAL ANUAL dls/kw-año
T 2x350	54,058	135.7	8.15	197.93
T 2x350	54,058	191.9	8.15	254.14
T 2x350	54,058	319.9	8.15	382.09
C 2x350	92,667	115.9	10.36	208.95
N 2x1000	144,811	22.8	21.40	189.04
N 1x1100	249,823	55.5	37.22	341.56
TG 1x30	37,262	45.6	5.34	88.24
CC 1x250	62,042	130.5	8.60	201.10
H 3x320	76,749		1.28	78.03

CALCULO DEL COSTO TOTAL ANUAL EN FUNCION DE LA TASA DE DESCUENTO  
 PARA UN FACTOR DE PLANTA FIJO (dado en la tabla de datos basicos)

TASA DE DESCUENTO		0.1		
TIPO DE PLANTA	COSTO ANUAL DE INVERSION dis/kw-año	COSTO VARIABLE ANUAL dis/kw-año	COSTO FIJO ANUAL DE OPERACION dis/kw-año	COSTO TOTAL ANUAL dis/kw-año
T 2x350	78.934	135.7	8.15	222.80
T 2x350	78.934	191.9	8.15	279.01
T 2x350	78.934	319.9	8.15	406.96
C 2x350	120.792	115.9	10.36	246.99
M 2x1000	211.448	22.8	21.40	255.68
M 1x1100	363.321	55.5	37.22	456.06
TC 1x30	47.580	45.6	5.34	98.55
CC 1x250	87.374	130.5	8.60	226.43
M 3x320	122.009		1.28	123.29

TASA DE DESCUENTO		0.15		
TIPO DE PLANTA	COSTO ANUAL DE INVERSION dis/kw-año	COSTO VARIABLE ANUAL dis/kw-año	COSTO FIJO ANUAL DE OPERACION dis/kw-año	COSTO TOTAL ANUAL dis/kw-año
T 2x350	113.327	135.7	8.15	257.20
T 2x350	113.327	191.9	8.15	313.40
T 2x350	113.327	319.9	8.15	441.36
C 2x350	173.302	115.9	10.36	299.58
M 2x1000	303.580	22.8	21.40	347.81
M 1x1100	521.628	55.5	37.22	614.37
TC 1x30	47.580	45.6	5.34	112.86
CC 1x250	122.692	130.5	8.60	261.75
M 3x320	181.623		1.28	182.90

55

barril y la de ciclo combinado. Después de este rango y hasta el 45%, la mejor opción para esta tasa de descuento resultan ser las termoeléctricas de combustóleo a precio nacional, siguiéndole el ciclo combinado. Es solamente para un factor de planta de 45% a 50% donde la nuclear (según precios de Comisión Federal de Electricidad, CFE.) resulta ser la más económica. Comparando con una termoeléctrica de carbón, con una tasa de descuento del 3%, resulta ser rentable, en ausencia de la nuclear, para un factor de planta de alrededor del 50%. Aunque para este caso, resulta que la nuclear es más rentable que el carbón, tomando como base los datos de CFE. Si cambiamos la referencia y tomamos como ciertos los datos proporcionados por "Electric Power Research Institute (EPRI)" para las centrales nucleares, resulta que una planta de este tipo, para una tasa de descuento del 3% será rentable para un factor de planta de más de 90%. Si reconocemos que una nuclear tiene tan sólo una f de 70% (datos de EPRI), esto significa que la nuclear, definitivamente no es rentable.

Una observación adicional es la rentabilidad del combustóleo si este se compra al precio mexicano. Sin embargo, si este subsidio desapareciera, este combustible sería muy poco rentable.

Si ahora comparamos el caso específico de la hidroeléctrica en análisis, para la tasa del 3%, resulta ser rentable desde un factor de planta del 5%.

# COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA

tasa de descuento 3%

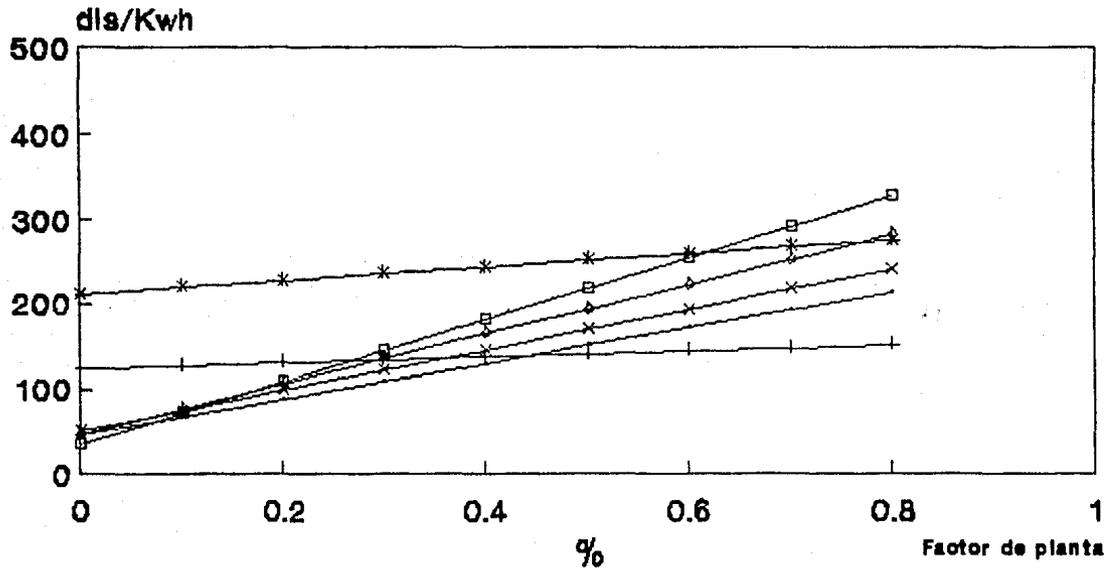


FIGURA 2.6

— T 2X350

—+ N 2X1000

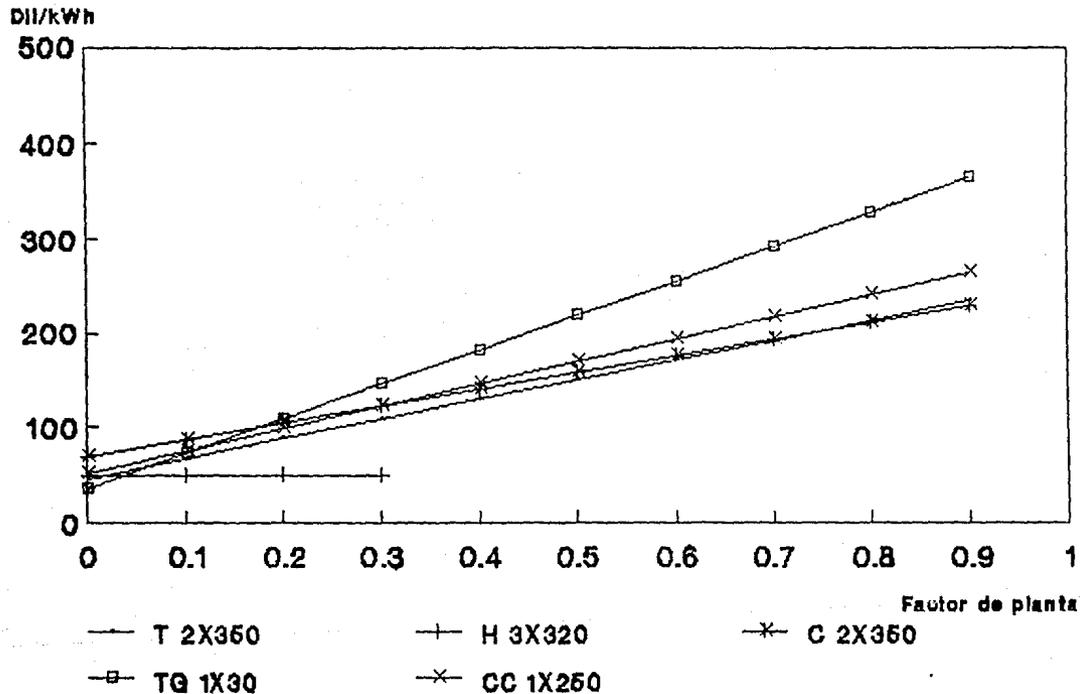
—\* N 1X100

—□ TG 1X30

—x CC 1X250

—◇ T2 2X350

## COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA tasa de descuento 3%



#### **Tasa de descuento del 6%.**

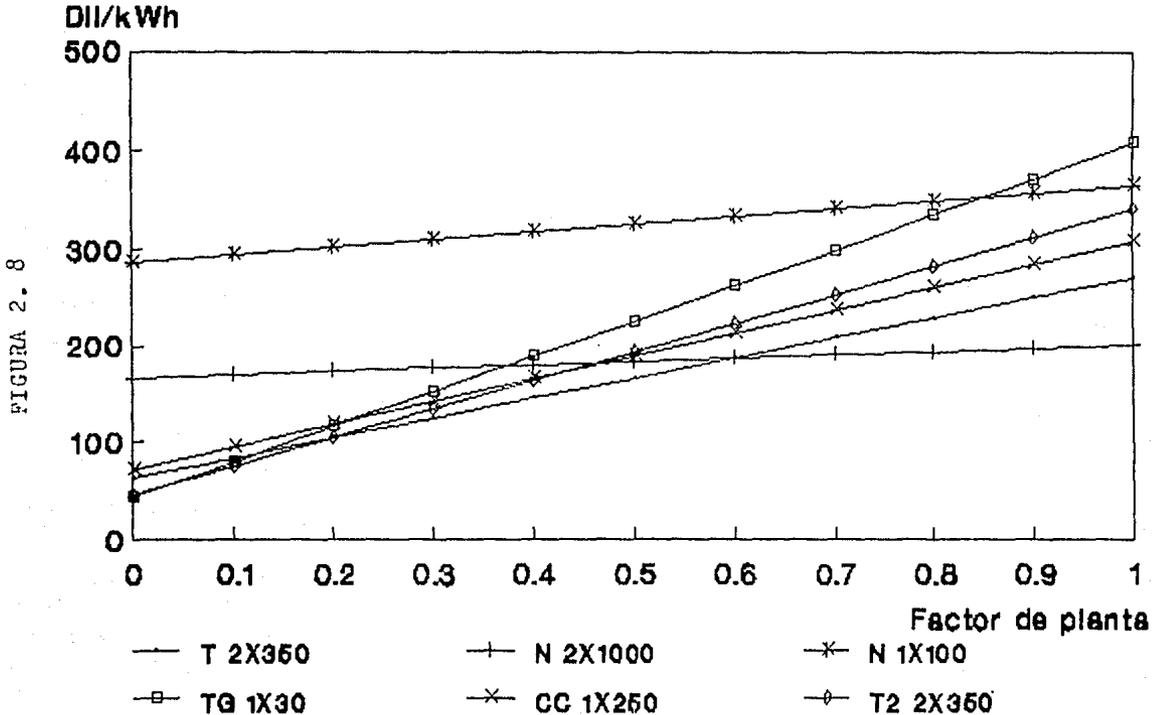
Para este caso, de 0 a 5%, la más rentable sigue siendo la turbina de gas, siguiendo el combustóleo y el ciclo combinado. De 5% a 15% están en orden de rentabilidad, el combustóleo a precio nacional, la turbina de gas, el combustóleo a 18dls/b y el ciclo combinado. A partir del 20% y hasta el 60%, la planta más viable es la de combustóleo. En adelante, para factores de planta de más del 60% la planta más económica es la nuclear según precios de CFE. Con los precios de EPRI, la nuclear para esta tasa de descuento no tiene ninguna posibilidad de competencia. Por otro lado, si no se toma en cuenta la nuclear a precios de CFE ni tampoco los precios nacionales de combustóleo, y en cambio se introduce el carbón como nueva variable, la rentabilidad de este comienza a partir de un factor del 40%. Para la hidroeléctrica en análisis, la viabilidad económica comienza a partir del 12%.

#### **Tasa de descuento del 10%.**

Para este caso, la turbina de gas es la opción más económica para un factor de planta de hasta más del 20%. Lo cual significa 1744 horas al año. A partir de aproximadamente el 22% hasta el 65%, la rentabilidad es mejor para el combustóleo a precio nacional, siguiendo el ciclo combinado. A partir del 80%, la rentabilidad es mejor para la nuclear a precios de CFE. Sin embargo el factor de planta de una nuclear es del 70% como máximo, por

# COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA

## tasa de descuento 6%



# COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA

tasa de descuento 6%

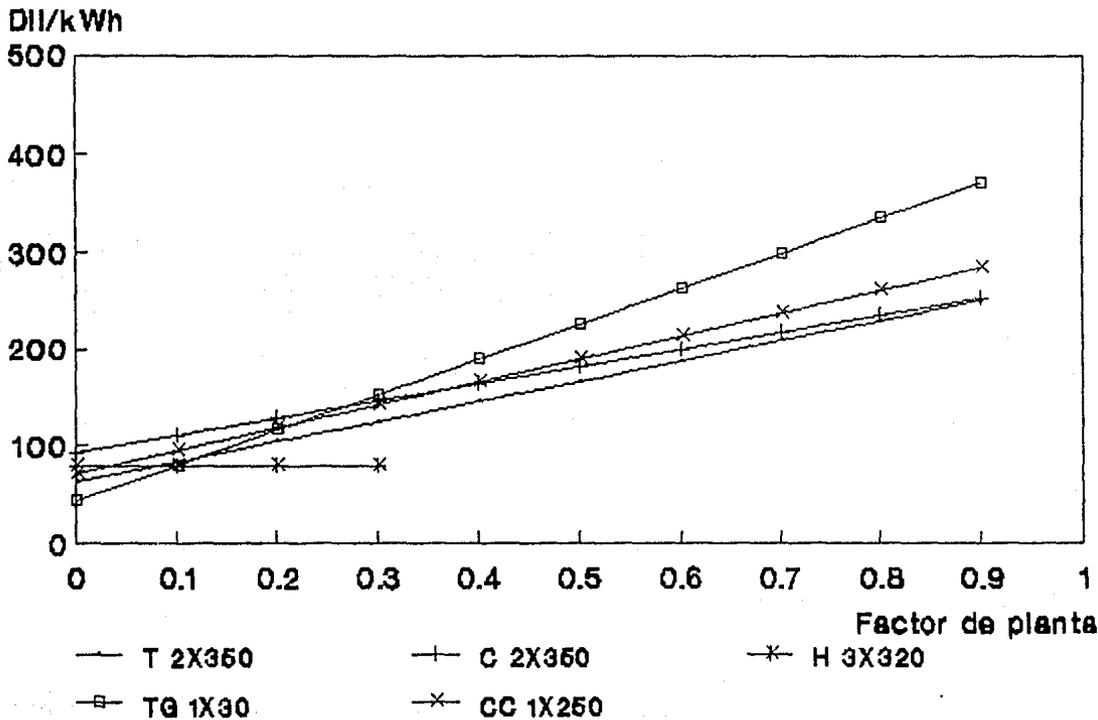


FIGURA 2.9

lo tanto para una tasa de descuento del 10%, la nuclear ya no es de ninguna manera factible financieramente. De la misma manera, el carbón también se vuelve muy caro. Mientras que la hidroeléctrica es rentable a partir del 22% aproximadamente.

#### **Tasa de descuento del 15%.**

En este caso, la rentabilidad de la turbina de gas llega hasta más de 25%. Para factores de planta mayores son rentables la hidroeléctrica, el combustóleo a precio mexicano, el ciclo combinado, el combustóleo a 18 dls/b y el carbón.

Es importante aclarar que estas gráficas sólo muestran un análisis de tipo financiero. Evidentemente esta es sólo una parte del análisis de la ventaja o no de utilizar o construir un tipo de planta generadora de electricidad. Existen otros factores de mayor, menor o igual jerarquía en una toma de decisión como pueden ser la disponibilidad del recurso, o la conveniencia para el país de adoptar o no un tipo de planta generadora en función de parámetros que van desde la demanda de energía, hasta los efectos en el medio ambiente de determinado tipo de combustible.

#### **c) Costo del Kw hora generado.**

El cálculo del costo del Kwh generado, según la tasa de descuento, se muestra en las tablas 2.14.

Como puede observarse el Kwh mas caro es el producido por la

# COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA

tasa de descuento 10%

DII/kwh  
500

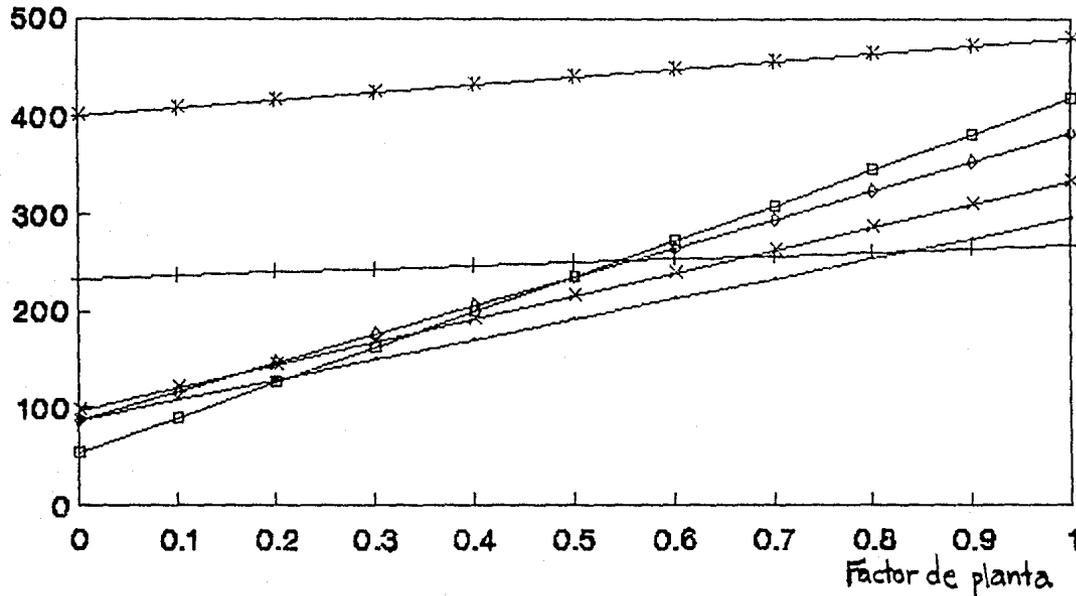


FIGURA 2.10

— T 2X350

+ N 2X1000

\* N 1X100

—□— TG 1X30

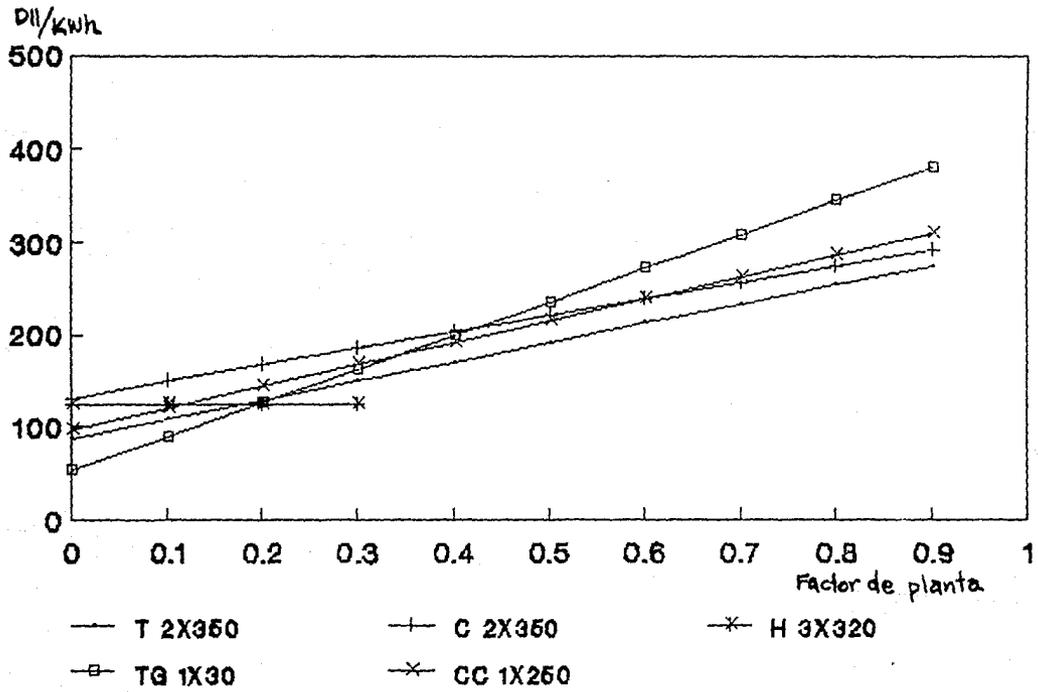
\* CC 1X250

—◇— T2 2x350

# COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA

tasa de descuento 10%

FIGURA 2.11

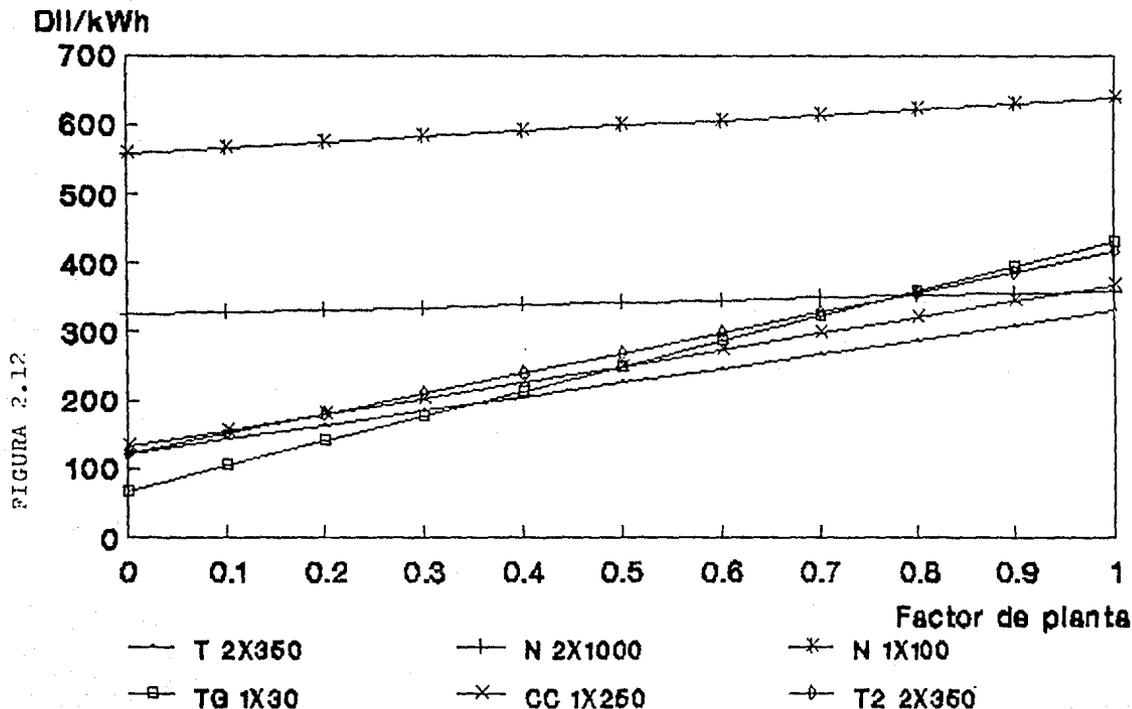


turbina de gas, siguiendo el nuclear calculado mediante los datos de EPRI, y con un precio cercano a este último, el producido por combustoleo a precio internacional. Si se toma en cuenta que la nuclear y el combustoleo son plantas de generacion media o de base, y la turbina de gas es sólo de pico (como lo muestran las tablas analizadas anteriormente), es evidente que el costo del kWh generado por la nuclear es el más alto.

Finalmente se presenta un cuadro (2.15) que resume la información del costo del kWh generado para una tasa del 10%.

# COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA

## tasa de descuento 15%



# COSTO TOTAL ANUAL VS FACTOR DE PLANTA

## tasa de descuento 15%

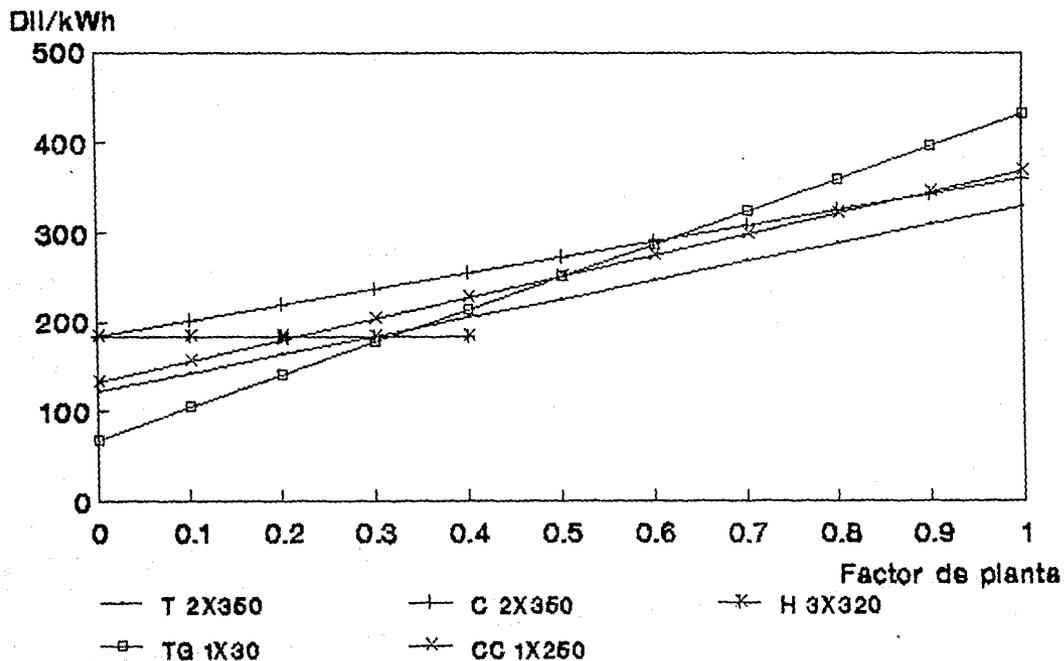




TABLA 2.15

## COSTO POR KWH GENERADO

TASA DE DESCUENTO		10%			
TIPO DE PLANTA	COSTO DE INVERSION ctdls/kWh	COSTO VARIABLE (COMBUSTIBLE) ctdls/kWh	COSTO FIJO DE OPERACION ctdls/kWh	COSTO POR KWH GENERADO ctdls/kWh	COSTO KWH MAS PERDIDAS ctdls/kWh
T 2x350	1.4	2.4	0.1	4	5
T 2x350	1.4	3.4	0.1	5	6
T 2x350	1.4	5.6	0.1	7	8
C 2x350	2.1	2.0	0.2	4	5
N 2x1000	3.7	0.4	0.4	4	5
N 1x1100	5.9	0.9	0.6	7	9
TG 1x30	4.3	4.2	0.5	9	11
CC 1x250	1.8	2.7	0.2	5	6
H 3X320	3.5	0.0	0.0	4	4

Los datos estan tomados de la tabla de datos basicos

La nuclear de 2x1000 son datos estimados de CFE

La nuclear Nuclear 1x1100 son datos calculados por EPRI

Se suponen 19% de perdidas por transmision, distribucion y comercializacion.



**CAPITULO III  
ECONOMIA DEL USO EFICIENTE  
DE LA ENERGIA**

### III. ECONOMIA DEL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA

#### III.1. RENTABILIDAD DEL CAMBIO TECNOLOGICO PARA EL USUARIO

A continuación se presenta el análisis de rentabilidad para lámparas incandescentes y fluorescentes desde la perspectiva del consumidor de la electricidad.

##### III.1.1 Algunas técnicas de evaluación financiera

Para poder realizar un cambio de tecnologías orientado al ahorro de energía, se requiere de una metodología que permita realizar una evaluación de tipo financiero para señalar la rentabilidad o no de una sustitución.

En la mayoría de las ocasiones, un cambio tecnológico involucra la necesidad de una inversión mayor que la de una tecnología convencional. La conveniencia de esa inversión está principalmente en función del ahorro de energía y por supuesto del costo de esta última. En general se puede decir que la rentabilidad de una inversión adicional depende de su monto, de la cantidad de energía ahorrada, del precio de la energía, de la durabilidad del dispositivo y de un factor que relaciona una inversión en el presente con beneficios en el futuro.

Este tipo de análisis está basado en la evaluación de alternativas financieras mutuamente excluyentes<sup>1</sup>, con sustento en consideraciones del valor del dinero en el

<sup>1</sup> Que no se puede escoger más de una.

tiempo. Entre los métodos que existen para evaluar o comparar alternativas mutuamente excluyentes o exclusivas de inversión están<sup>2</sup> los métodos de: valor presente, periodo de reembolso, anualidad equivalente, tasa interna de retorno y relación costo/beneficio.

Adecuando estos métodos a la evaluación de tecnologías en el uso eficiente de la energía se puede decir que algunos índices importantes en este tipo de cálculos son: Tiempo simple de recuperación de la inversión (TSR), Periodo de reembolso (PR), Costo de energía ahorrada (CEA), Tasa interna de retorno (TIR), Costo durante la vida de la inversión (CVU), y Costo anualizado total durante la vida útil de la inversión (CAT).

A continuación se explicará a grandes rasgos el significado de estos índices, además de algunos conceptos indispensables en su cálculo.

**Valor del dinero en el tiempo.**

Existe un costo al desaprovechar la oportunidad de ganar interés o utilidad en una inversión que debe ser reflejado en el valor del dinero en el tiempo. La relación entre el valor actual o presente de una suma de dinero y el valor futuro está determinado por ese costo de oportunidad,

---

<sup>2</sup>White a. John et al "Técnicas de análisis económico en Ingeniería". Ed. Limusa. México 1981. p.189.

expresado en una tasa de interés. Así el valor futuro de una suma de dinero se relaciona con el valor presente por:

$$F = P (1 + i)^n$$

O visto de otra forma, el valor presente será:

$$P = F (1 + i)^{-n}$$

donde:

F = valor futuro o valor equivalente de una cantidad de dinero en el tiempo n

P = valor presente o valor equivalente de una cantidad en el tiempo cero

i = tasa de interés por periodo de interés

n = número de periodos de interés

#### Tasa de descuento

Se presentan dos tasas de descuento, la nominal y la real.

La tasa de descuento nominal tiene la misma forma que la tasa de interés bancaria del mismo nombre.

La tasa real de descuento, además de tomar en cuenta el valor del dinero en el tiempo reflejado en la tasa nominal, considera también la tasa de inflación. De tal manera que si la inflación anual es "i", la tasa real de descuento "d" está relacionada con la tasa nominal de descuento "d'" por:

$$(1 + d') = (1 + i)(1 + d),$$

es decir:

$$(1 + d) = \frac{(1 + i)}{(1 + d')}$$

donde:

d = tasa real de descuento

i = tasa de interés

d' = tasa nominal de descuento

**Factor de recuperación de capital**

La transformación de una suma de dinero a valor presente, puede generalizarse para considerar la conversión de una serie de flujos de efectivo.

Si se tienen k periodos y un flujo de efectivo para cada periodo llamado  $A_k$ , entonces el equivalente en valor presente de la serie de flujos de efectivo está dado por la suma de los flujos de efectivo en valor presente de cada periodo. Si estos flujos son iguales o equivalentes para todos los periodos k, entonces esta suma queda expresada por la siguiente fórmula:

$$P = A(1 + d)^{-k}$$

donde:

- P = Valor equivalente de una cantidad de dinero en el valor actual
- A = Magnitud de un flujo de efectivo para cada periodo
- d = Tasa de descuento
- k = Periodo
- n = Total de periodos

Y desarrollando matemáticamente la serie, se tendrá que el valor presente estará dado por:

$$P = A \frac{(1 + d)^n - 1}{d (1 + d)^n}$$

O visto de otra forma, la magnitud de un flujo de efectivo en cierto periodo está dado por:

$$A = P \frac{d (1 + d)^n}{(1 + d)^n - 1}$$

donde al factor que multiplica a P se le llama factor de recuperación de capital (FRC), el cual relaciona flujos de efectivo en diversos periodos de tiempo.

#### **Tiempo simple de recuperación de la inversión (TSR).**

El más sencillo de estos índices es el TSR definido como la razón entre la inversión inicial y los ahorros en el primer año. Este índice es simple, sin embargo es el menos deseable ya que no considera la vida útil de la inversión ni el valor futuro del dinero.

#### **Tasa interna de retorno (TIR).**

Es aquella tasa de interés que gana el saldo no recuperado de una inversión<sup>3</sup>. Para una alternativa se calcula como la tasa de interés que da un valor presente o un valor anual de cero.

Cuando la comparación es entre dos alternativas de inversión, el método de la tasa interna de retorno consiste en buscar la tasa de rendimiento para la cual se igualan dichas alternativas. En el caso de la comparación de una inversión entre una tecnología convencional y una eficiente en el consumo de energía, deberá evaluarse la inversión inicial y el ahorro energético.

Sin embargo, las operaciones del valor del dinero en el tiempo que se emplean en el método TIR equivalen a suponer

---

<sup>3</sup> White o  
p cit.

que todo el dinero que se recibe se reinvierte y gana interés a una tasa igual a la tasa de retorno o rendimiento interna. Esto implica que este método es útil para aquellos proyectos que generan TIR no muy diferentes a las tasas de descuento. Cuando esto no sucede y la TIR es mucho mayor a la tasa de descuento, se sobrestima el rendimiento del proyecto, pues el inversionista no podría invertir en una tasa semejante a la TIR. Para este tipo de proyectos o alternativas de inversión se utiliza la llamada tasa pseudo interna o ajustada de retorno.

Un problema adicional de este método es la dificultad para comparar alternativas con vida útil diferente.

#### **Costo anualizado (CA).**

Es el costo anual de una inversión, tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Si la alternativa está compuesta por elementos con diferente vida útil, el costo anualizado será la suma del costo anual de cada uno de ellos. La anualidad de cada elemento de la alternativa de inversión estará ponderado por el llamado factor de recuperación de capital. Esto queda expresado matemáticamente de la siguiente manera:

$$CA = FRC(d, L1) C1 + FRC(d, L2) C2 + FRC(d, L3) C3 + Cm$$

donde:

$L_i$  = vida de la parte  $i$  de la tecnología (lámpara o balastro o luminario o costo de instalación).

$C_i$  = costo de la parte  $i$  de la tecnología (lámpara o balastro o luminario o costo de instalación).

$C_m$  = costo de mantenimiento.

y:

$$\text{FRC}(d,L) = \frac{d(1+d)^L}{(1+d)^L - 1} = \text{Factor de recuperacion de capital}$$

d = tasa de descuento.  
L = Vida útil.

### Costo de energía ahorrada (CEA).

Como el nombre lo indica, este método de comparación de alternativas está adecuado directamente a tecnologías eficientes en el consumo de energía y representa el valor del ahorro por unidad energética, tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo .

De esta manera al dividir el costo adicional de inversión de una tecnología eficiente, entre la energía anual ahorrada al utilizar dicha tecnología, e introducir un elemento que tome en cuenta el valor del dinero en el tiempo, se encuentra un costo asociado a dicho ahorro de energía.

Evidentemente el CEA deberá ser menor al precio de la energía para que la inversión sea rentable.

Cuando las alternativas tienen la misma vida útil esto puede ser expresado matemáticamente por la siguiente fórmula:

$$\text{CEA} = \text{FRC}(d,L) * (\text{Ce} - \text{Cc}) / (\text{Ec} - \text{Ee})$$

donde:

CEA = Costo de energía ahorrada  
FRC = Factor de capitalización  
Ce = Inversión inicial de la tecnología eficiente  
Cc = Inversión inicial de la tecnología convencional

Ec = Consumo anual de energía de la tecnología  
convencional  
Ee = Consumo anual de energía de la tecnología  
eficiente

Al comparar el Costo de energía ahorrada con el costo  
anualizado, es evidente que:

$$CEA = \frac{\text{Diferencia en costo anualizado de dos alternativas.}}{\text{Ahorro energético anual.}}$$

es decir:

$$CEA = CAe - CAc / Ee - Ec$$

Esta forma de plantear el CEA permite facilidad al  
tratar con alternativas que contienen elementos con diversas  
vidas útiles.

#### Periodo de reembolso (PR)

Al igual que el Tiempo simple de recuperacion, el  
Periodo de reembolso determina el tiempo de recuperación de  
la inversión, con la diferencia de que toma en cuenta el  
valor del dinero en el tiempo y la vida de la alternativa  
mas eficiente. De esta manera, al tiempo simple de  
recuperacion dado por:

$$TSR = \frac{\text{Diferencia en el costo inicial de las alternativas}}{\text{Costo anual de la energía ahorrada}}$$

deberá multiplicarse por un factor que tome en cuenta el  
valor del costo de la alternativa eficiente en el tiempo.  
Como el ahorro de energía está calculado para un año,

entonces este factor será el factor de capitalización expuesto anteriormente.

Calcular de esta manera el Periodo de reembolso implica que el costo de la energía se mantiene constante. Sin embargo, esta suposición no sobreestima el resultado. Por el contrario, en el caso de que el costo de la energía aumentara, el Periodo de recuperación de la inversión sería mayor. Así el Periodo de reembolso está dado por:

$$PR = FRC(d,L) \frac{C_e - C_c}{P (E_c - E_e)}$$

donde:

FRC (d, L ) = Factor de recuperacion de capital para una tasa de descuento d y una vida L.

C<sub>e</sub> = Costo de la tecnología eficiente

C<sub>c</sub> = Costo de la tecnología convencional

P = Precio de la energía

E<sub>c</sub> = Consumo anual de energía de la tecnología convencional

E<sub>e</sub> = Consumo anual de energía de la tecnología eficiente.

**Costo anualizado total durante la vida útil (CAT).**

Al igual que el CA, este método de comparación de alternativas de inversión establece el costo anual de cada proyecto, sin embargo, este índice introduce el costo anual del consumo de energía completando de esta forma el costo total de la alternativa a analizar.

Así el Costo anualizado total está dado por:

$$CATA = C_m + pE_a + FRC(d, L_1)C_1 + FRC(d, L_2)C_2 + \dots n$$

donde:

CATA = Costo anualizado para la alternativa a.

$C_m$  = Costo de mantenimiento anual.

$p$  = precio de la energía.

$E_a$  = Consumo anual de energía de la alternativa a.

$pE_a$  = Costo de energía anual.

FRC = Factor de recuperación de capital para una tasa de descuento  $d$  y una vida útil del elemento  $i$  de la alternativa a  $L_i$ .

$C_i$  = Costo del elemento  $i$  de la alternativa a

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

### III.1.2. ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS A LA TECNOLOGIA CONVENCIONAL.

El beneficio de un cambio de tecnología para el consumidor, depende del ahorro en el costo de la energía que pueda tener y de la inversión inicial que deba hacer. Esta estimación se obtiene a partir de las técnicas financieras antes expuestas y que serán utilizadas para analizar la conversión de lámparas convencionales por ahorradoras de energía.

Como se dejó ver en la sección anterior, el Costo de energía ahorrada (CEA) y el Costo anualizado total para la vida útil (CAT) resultan ser los métodos más útiles en la comparación de alternativas en el ahorro de energía, debido a que tienen la ventaja de poder incorporar de manera sencilla distintos componentes de la tecnología eficiente en una ecuación y compararlo con la convencional, aun y cuando la vida útil de las mismas sea diferente, lo cual es sumamente práctico para analizar los dispositivos utilizados en la iluminación. Así serán el CEA y el CAT los índices que se utilicen en el análisis. Adicionalmente el Periodo de reembolso PR será utilizado ocasionalmente pues permite dar un resultado muy plausible de la viabilidad que para el usuario tendrá la inversión en determinada tecnología eficiente en el ahorro de energía.

Para poder desarrollar un análisis de este tipo, se dividirá en dos partes: iluminación residencial e

iluminación comercial (incluye oficinas). El alumbrado público no será tratado en este trabajo.

Para realizar este análisis se tomarán en cuenta algunas de las tecnologías eficientes comerciales, cuya totalidad se muestra en la tabla 1 del apèndice 1.

#### III.1.2.1. Iluminación residencial.

En este sector la iluminación está dominada por las lámparas incandescentes. Para las lámparas de poco uso, estas seguirán siendo las más económicas. Sin embargo para las de mayor uso, por ejemplo 3 horas diarias o más, es decir, para aquellas que representan la mayor parte del consumo, la conversión de dos o tres incandescentes por incandescentes más eficientes o por fluorescentes compactas puede resultar una inversión rentable. Se toman en cuenta solamente estas tecnologías debido a que son las que representan alternativas reales de cambio.

En las tablas de la 3.1 a la 3.5 se presentan los resultados de los índices económicos que muestran con más claridad la rentabilidad de una transformación tecnológica de este tipo.

En el análisis se supone que las lámparas de 25 watts no son factibles de cambio, debido a que tienen poca presencia en el mercado y a que son de uso poco continuo durante un tiempo considerable; se presupone también, que las lámparas de potencia mayor a los 100 watts son escasas

en el sector residencial. De esta manera el análisis sólo se realiza para las lámparas convencionales de 40, 60, 75 y 100 watts de potencia.

Es importante hacer notar que la lámpara eficiente, no necesariamente da exactamente la misma iluminación que la convencional. En algunos casos da más y en otros menos.

Para todas las potencias el CEA se calcula tomando como punto de comparación la tecnología convencional.

Para el Costo anualizado total (CAT), el precio de la energía se toma para las diferentes tarifas o bloques en el sector doméstico y el dato que aparece en primer lugar en todas las tablas se refiere al costo de generación de una turbina de gas más el 18% de pérdidas en transmisión distribución y comercialización (que incluye las pérdidas térmicas y la energía eléctrica no cobrada a las personas que ilegalmente utilizan la electricidad)<sup>4</sup>.

Se toma el dato de la turbina de gas, debido a que en el análisis del capítulo 2, se obtuvo que para tasas de descuento mayores al 3%, una utilización de 1460 horas al año, es decir 4 horas diarias correspondientes a la hora pico de demanda, esta forma de generación de energía eléctrica resulta ser la más económica.

En relación a los bloques de costos de la energía eléctrica se utiliza un análisis del tipo marginalista, es decir, se supone que si se usan tecnologías eficientes para la iluminación, el ahorro de energía se reflejará en el

4 Comisión Federal de Electricidad utiliza este porcentaje.

último bloque tarifario, (es decir a aquel cuyo costo por kWh es más caro) al cual se adscribe el consumo de energía del usuario en cuestión. Por ejemplo para un usuario que consume más de 200 kwh al mes, el kwh de iluminación le costará 325 pesos.

Finalmente, en relación al costo de la energía, se toman como bloques los que se refieren a la tarifa 1 residencial. Es de hacer notar que la extrapolación a todos los usuarios implica algunos errores, pues existen otras tres tarifas para el sector doméstico, que dependen del clima (1a, 1b y 1c). Esta generalización puede presentar resultados que subestimen el posible cambio tecnológico. Esto es debido a que el uso del aire acondicionado en las épocas de clima cálido genera un mayor consumo de energía en los usuarios y por lo tanto mayor necesidad de ahorro energético.

El análisis se realiza tomando una tasa de descuento del 10% y una utilización de las lámparas de cuatro horas durante el pico de demanda de energía. Para cada caso se realiza también un análisis de sensibilidad para estas dos variables.

#### **Focos de 40 watts.**

Para el caso de los focos convencionales de 40 watts, se tienen dos alternativas de reemplazo. Una, la incandescente eficiente, que proporcionando de un 82 a un 86% de la iluminación de un foco inandescente convencional

TABLA 3.1

ANÁLISIS DE ENERGÍA EN LAMPARAS INCANDESCENTES  
 RENTABILIDAD DE LA SUSTITUCIÓN DE UN FOCO DE 40 WATTS

	Incandescente convencional	Incandescente eficiente	Fluorescente compacta	
Potencia (watts)	40	34	9	
Iluminación (%)	100%	86%	82%	
Consumo eléctrico anual (kWh)	58,4	49,6	13,1	
Vida (años)	0,7	1,7	6,8	
Vida adaptador (años)	---	---	9,6	
Costo (\$)	1000	1860	12300	
Costo adaptador (¢)	---	---	13700	
Costo anualizado c d11	1502 54,9	1235 42,9	4853 168,5	
Costo de energía ahorrada \$/kWh c d11/kWh	---	-40 -1,4	-72 2,5	
Precio de la energía \$/kWh	Costo anualizado total según el precio de la energía de cada bloque \$/año			
	43	4094	3370	5418
	61	100%	82%	132%
		5145	4263	4454
		100%	83%	110%
	80	6254	5206	5904
		100%	83%	94%
	93	7014	5852	6075
		100%	83%	87%
	103	7598	6346	6206
		100%	84%	82%
	325	20562	17368	9123
		100%	84%	44%
	307	19525	16495	8892
		100%	84%	46%
Precio de la energía \$/kWh	Periodo de reembolso para distintos precios de la energía en años			
	43			1,7
	61			1,2
	80			0,9
	93			0,8
	103			0,7
	325			0,2
	307			0,2

1. Los precios se refieren al costo de generación y a los diversos precios del kWh para la tarifa 1. Los 307 \$/kWh son el costo de generación con turbina de gas más 18% de pérdidas por transmisión, distribución y comercialización.
2. La potencia de la fluorescente compacta incluye 2 watts del adaptador.
3. Se supone que el foco está en uso 4 horas diarias.
4. Tasa de descuento 10%.
5. d11 = \$2900
6. El CER se calcula en relación a la opción convencional.
7. El porcentaje que aparece debajo del costo anualizado total está calculado respecto a la convencional en todos los casos.
8. Para calcular el periodo de reembolso se supone que el precio de la energía es constante y el costo de la tecnología eficiente se anualiza por medio del factor de capitalización.
9. No se calcula el PR para las incandescentes eficientes pues es negativo.

(varía según el color), disminuye el consumo de energía, pues tiene una potencia de 34 watts. La otra alternativa es el foco fluorescente compacto de 9 watts (7 de la lámpara y 2 un adaptador a socket) que proporciona también del 82 al 86% de la luz de una convencional. En la tabla 3.1 se muestran los datos básicos de este tipo de lámparas y los resultados obtenidos al calcular el Costo de energía ahorrada (CEA), el Costo anualizado total (CAT) y el Periodo de reembolso (PR).

Como lo muestra esta tabla, el CEA es negativo en el primer caso, es decir el cambio de convencional a incandescente eficiente, teniendo un valor de -1 centavo de dólar. Esto significa que el Costo anualizado de la inversión de la incandescente eficiente es menor que la convencional, debido a su larga vida, 2500 horas y a su relativo bajo costo, tan sólo \$860 más que la convencional. Esto quiere decir, que la eficiente sería más rentable que la convencional, aun y cuando no ahorrara energía. De esta manera, para cualquier tarifa residencial, este cambio es financieramente viable.

Para el segundo caso, el valor del CEA es de 72 pesos por kwh (3 centavos de dólar por Kwh). Es decir, menor al costo de la energía para el caso de las tarifas iguales o mayores a los 80 pesos por Kwh.

Así mismo, al comparar el Costo anualizado total en cada lámpara y para cada una de las tarifas, se observa el mismo resultado, es decir, que el cambio tecnológico

por una incandescente eficiente es rentable para todos los casos, y para el caso de la compacta fluorescente, la transformación tecnológica es solamente rentable a partir del precio de 80\$/kWh.. Esto es más evidente cuando se comparan los porcentajes que aparecen debajo del valor del costo anualizado. Para el caso del primer bloque de precio de la energía, el CAT de la compacta fluorescente de 9 watts representa 32% más que el de la convencional y para el segundo bloque, el 10%.

Así podemos concluir que en el caso de las lámparas convencionales de 40 watts, un cambio a una de 34 watts es rentable en todos los casos y la transformación a la compacta fluorescente de 9 watts es rentable a partir del tercer bloque de la tarifa 1, es decir para los consumidores que utilizan más de 50 kWh al mes.

Como puede observarse el Periodo de reembolso de la inversión inicial en focos compactos fluorescentes es menor de un año para los usuarios para los cuales es rentable la inversión, siendo de cuatro meses para los usuarios que consumen más de 200 kWh al mes.

#### **Focos de 60 watts.**

Para el reemplazo de las lámparas convencionales de 60 watts, existen también dos posibilidades. La incandescente eficiente de 52 watts y la compacta fluorescente de 15 watts (13 de la lámpara y 2 del adaptador). En el primer caso, se tendrá un ahorro por lámpara de 12 Kwh al año,

FABLA 3.2

AHORRO DE ENERGIA EN LAMPARAS INCANDESCENTES  
RENTABILIDAD DE LA SUSTITUCION DE UN FOCO DE 60 WATTS

	Incandescente convencional	Incandescente eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	60	52	15
Iluminacion (%)	100%	95%	105%
Consumo electrico anual (Kwh)	87,6	75,9	21,9
Vida (años)	0,7	1,7	6,8
Vida adaptador (años)	---	---	9,6
Costo (\$)	1000	1860	1200
Costo adaptador (\$)	---	---	13700
Costo \$ anualizado c dil	1502 54,9	1235 42,9	4053 118,5
Costo de energia ahorrada \$/Kwh c dil/Kwh	---	-30 -1,0	50 1,7
Precio de la energia \$/kwh	Costo anualizado total segun el precio de la energia de cada bloque \$/año		
43	5349 100%	4500 84%	5714 100%
61	6926 100%	5866 85%	6100 89%
80	8590 100%	7309 85%	6605 77%
93	9729 100%	8296 85%	6849 71%
103	10605 100%	9055 85%	7108 67%
325	30052 100%	25909 86%	11970 40%
307	28511 100%	24573 86%	11505 41%
Precio de la energia \$/kwh	Periodo de reembolso para distintos precios de la energia en años		
43	1,2		
61	0,8		
80	0,6		
93	0,5		
103	0,5		
325	0,2		
307	0,2		

1. Los precios se refieren al costo de generacion y a los diversos precios del kWh para la tarifa 1. Los 307 \$/Kwh son el costo de generacion con Turbina de gas mas 18% de perdidas por transmision, distribucion y comercializacion.
2. La potencia de la lampara incluye 2 watts del adaptador.
3. Se supone que el foco esta en uso 4 horas diarias
4. Tasa de descuento 10%
5. dia 1 = \$2900
6. El CEA se calcula en relacion a la opcion convencional
7. El porcentaje que aparece debajo del costo anualizado total esta calculado respecto a la convencional en todos los casos
8. Para calcular el Periodo de reembolso se supone que el precio de la energia es constante y el costo de la tecnologia eficiente se analiza por medio del factor de capitalizacion.
9. No se calcula el PR para las incandescentes eficientes pues es negativo.

obteniendo una iluminación de entre el 94 y 97% (dependiendo del color) y en el segundo (fluorescente vs convencional) de 69 Kwh al año, obteniendo del 10 al 12% más de iluminación.

Como puede observarse en la tabla 3.2, el CEA entre la convencional y la eficiente incandescente es negativo. Este resultado implica nuevamente que un cambio de convencional a incandescente eficiente es tan rentable, que resulta más barato que la bombilla tradicional. Curiosamente, en la sustitución de una fluorescente compacta este es el único caso para el cual el cambio es factible desde la tarifa de 61 pesos por kWh, es decir para los consumidores de más de 25 kWh al mes.

Como puede observarse en la misma tabla, el Costo anualizado total de las compactas fluorescentes en relación a la convencional representa el 89% para el precio de 61\$/kWh, lo cual significa que para este costo de la energía, la fluorescente es 11% más rentable que la convencional y tiene un periodo de reembolso de 0.8 años. En el mismo sentido, para el precio de 325 \$/kWh la fluorescente es 60% más rentable que la convencional y tiene un periodo de reembolso de tan solo 2 y medio meses.

**75 y 100 watts de potencia.**

Los focos de 75 watts de potencia dan una iluminación de 1070 lumenes en promedio, mientras que los de 100 watts dan entre 1450 y 1560. Las incandescentes eficientes de 90

watts dan una iluminación de 1490 lúmenes, las compactas fluorescentes de 18 watts de potencia con balastro electromagnético dan una de 950 y una de 1100 lúmenes la brinda la compacta fluorescente de 18 watts con balastro electrónico.

Esto significa que las compactas fluorescentes de 18 watts, formalmente sólo representan una alternativa para los focos convencionales de entre 60 y 75 watts, para el caso de la electromagnética y de entre 75 y 100 watts para el caso de la electrónica.

Sin embargo, resulta que tan sólo el 15% de las ventas de focos incandescentes corresponde a los de 75 watts y el 40% a los de 100 watts.

Tomando en cuenta este dato y sobre todo el resultado de gran cantidad de pruebas que señalan que una iluminación de un foco de 75 watts, 1070 lúmenes, es suficiente para la gran mayoría de las necesidades domésticas, es que se decide en este trabajo, hacer el siguiente análisis económico de reemplazo .

Para la convencional de 100 watts, se supone que son alternativas la incandescente eficiente de 90 y la compacta fluorescente electrónica de 18. Y los dos tipos de compacta (electromagnética y electrónica) de 18, lo son para la convencional de 75 watts.

Es así como la tabla 3.3 muestra el cambio entre una convencional de 100 watts, una eficiente de 90 y la fluorescente compacta electrónica de 18 watts. Una vez más,

TABLA 3.3

AHORRO DE ENERGIA EN LAMPARAS INCANDESCENTES  
RENTABILIDAD DE LA SUSTITUCION DE UN FOCO DE 100 WATTS

	Incandescente convencional	Incandescente eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	100	90	18
Iluminacion (%)	100%	96%	71%
Consumo eléctrico anual (Kwh)	146,0	131,4	26,3
Vida (años)	0,7	1,7	6,8
Vida adaptador (años)	---	---	---
Costo (\$)	1000	1860	53000
Costo adaptador (\$)	---	---	---
Costo \$ anualizado c d11	1582 54,9	1235 42,9	11055 303,9
Costo de energía ahorrada \$/kWh c d11/kWh	---	-24 -0,8	93 3,2
Precio de la energía \$/kWh	Costo anualizado total segun el precio de la energía de cada bloque \$/año		
43	7060 100%	6885 88%	12185 155%
61	10488 100%	9251 88%	12658 121%
80	13262 100%	11747 89%	13157 99%
93	15160 100%	13455 89%	13499 89%
103	16620 100%	14769 89%	13762 83%
325	49032 100%	43940 90%	19536 40%
290	43922 100%	39341 90%	18676 43%
Precio de la energía \$/kWh	Periodo de reembolso para distintos precios de la energía en años		
43	3,2		
61	1,5		
80	1,2		
93	1,0		
103	0,9		
325	0,3		
290	0,3		

- Los precios se refieren al costo de generacion y a los diversos precios del kWh para la tarifa 1. Los 307 \$/kWh son el costo de generacion con Turbina de gas mas 18% de perdidas por transmision, distribucion y comercializacion.
- La lampara compacta fluorescente que se analiza es la de balastro electronico.
- 10% tasa de descuento. d11 = \$2900. 4hrs diarias del foco encendido
- El CEA se calcula en relacion a la opcion convencional
- El porcentaje que aparece debajo del costo anualizado total está calculado respecto a la convencional en todos los casos
- Para calcular el Periodo de reembolso se supone que el precio de la energía es constante y el costo de la tecnología eficiente se anualiza por medio del factor de capitalizacion.
- No se calcula el PR para las incandescentes eficientes pues es negativo.

el CEA negativo, resultado de la comparación de la incandescente eficiente y la convencional, señala la gran rentabilidad de la primera para todas las tarifas. Y en la comparación con la electrónica de 18 watts con la convencional de 100 wttts, el resultado indica que sólo hay rentabilidad en el cambio para los usuarios que consumen más de 50 kWh al mes.

Como también puede observarse, el periodo de reembolso para el caso de la inversión en una compacta fluorescente de 18 watts con balastro electrónico, va de 2 y medio meses para los consumidores de más de 200 kWh al mes, a un año para los de más de 75 kWh al mes.

Por otro lado, en la tabla 3.4 se muestra la sustitución de una compacta fluorescente de 18 watts (con los dos tipos de balastro) por una incandescente de 75 watts. El CEA y el CAT indican que la rentabilidad existe a partir del segundo bloque de precio de la energía para la compacta electromagnética, teniendo un periodo de reembolso que va desde 11 hasta 2 meses dependiendo del precio del kWh. En el caso de la compacta fluorescente con balastro electrónico, la rentabilidad comienza a partir del tercer bloque (más de 75 kWh al mes), representando un 11 por ciento más de rentabilidad que la convencional para este precio y 60% más para el precio de 325 \$/kWh. En este caso, el periodo de reembolso es de un año para el precio de 93 \$/kwh (más de 75 kWh al mes) y de 2 meses y medio para el precio más alto.

TABLA 3.4

AHORRO DE ENERGIA EN LAMPARAS INCANDESCENTES  
RENTABILIDAD DE LA SUSTITUCION DE UN FOCO DE 75 WATTS

	Incandescente convencional	Fluorescente compacta	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	75	18	18
Iluminacion (%)	100%	101%	117%
Consumo electrico anual (kWh)	125,6	26,3	26,3
Vida (años)	0,7	6,0	6,0
Vida adaptador (años)	---	---	---
Costo (\$)	1000	4000	5000
Costo adaptador (\$)	---	---	---
Costo \$ anualizado @ 11%	1582 54,9	7092 246,2	11055 362,0
Costo de energia ahorrada \$/kWh @ 11%/kWh	---	55 1,9	95 3,3
Precio de la energia \$/kWh	Costo anualizado total segun el precio de la energia de cada bloque \$/año		
43	6901 100%	8122 110%	12185 175%
61	9242 100%	8685 94%	12558 137%
80	13262 100%	9194 69%	13157 99%
93	15160 100%	9556 63%	15499 103%
103	16620 100%	9799 59%	15762 93%
325	49032 100%	15533 32%	19596 40%
290	45922 100%	14713 32%	18676 40%
Precio de la energia \$/kWh	Periodo de reembolso para distintos precios de la energia en \$/año		
43		1,3	2,2
61		0,9	1,6
80		0,7	1,2
93		0,6	1,0
103		0,5	0,9
325		0,2	0,3
290		0,2	0,3

1. Los precios se refieren al costo de generacion y a los diversos precios del kWh para la tarifa 1. Los 307 \$/kWh son el costo de generacion con turbina de gas mas 10% de perdidas por transmision, distribucion y comercializacion.
2. La primera compacta fluorescente que aparece (101% de iluminacion) corresponde a la balstrada electromagneticamente, la que tiene 117% de iluminacion corresponde a la electronica.
3. 10% tasa de descuento, dia 1 = \$2900. Bases diarias del foco encendido.
4. El CEA se calcula en relacion a la opcion convencional.
5. El porcentaje que aparece debajo del costo anualizado total esta calculado respecto a la convencional en todos los casos.
6. Para calcular el Periodo de reembolso se supone que el precio de la energia es constante y el costo de la tecnologia eficiente se anualiza por medio del factor de capitalizacion.

Estos resultados implican que las lámparas incandescentes eficientes, aunque no representan un gran ahorro de energía son de una rentabilidad mayor a las convencionales, lo cual las hace factibles para cualquier consumidor de energía eléctrica. En el caso de las compactas fluorescentes, en casi todos los casos la rentabilidad existe para los usuarios de más de 75 kWh al mes lo cual representa el 67% de todos los consumidores a nivel nacional.

#### III.1.2.2. Iluminación comercial

En el apéndice 1 se presenta una lista de las lámparas eficientes, incluidos balastos y luminarios, que actualmente se comercializan en México. El análisis que a continuación se presenta sólo toma en cuenta estas tecnologías.

Por esta razón, solamente se estudian los focos fluorescentes eficientes de 38mm., a pesar de que, como se menciona en el capítulo I, en la actualidad existen focos fluorescentes de menor diámetro, 16mm cuya eficiencia es mayor.

Por otro lado es importante señalar que existen posibles sustituciones que tampoco se analizan en este trabajo, como por ejemplo la factibilidad del cambio de los reflectores incandescentes por los dicróicos o por lámparas fluorescentes de alta luminosidad.

Las alternativas que se analizan son las que se presentan en las tablas 3.5 a 3.8. Como puede observarse para el caso de la sustitución de las fluorescentes de 40 watts y de 39 watts, se presentan las siguientes combinaciones de análisis.

1. Lámpara , luminario y balastro convencionales.
2. Lámpara convencional, luminario convencional y balastro eficiente. Esto sólo implica un cambio en el balastro, pero hace que disminuya la potencia total del arreglo en 11 watts para el caso de 2 x 40 y de 2 x 39, dando 3% más de iluminación.
3. Lámpara eficiente, luminario y balastro convencional. Aunque este tipo de arreglo no es recomendable debido a que la lámpara eficiente esta diseñada para funcionar con un balastro eficiente, algunos productores de focos no lo prohíben. La disminución de potencia del arreglo, tomando como referencia el convencional es de 16 para 2 x 40 y 2 x 39 y genera 4% menos de iluminación.
4. Lámpara eficiente, luminario convencional y balastro eficiente. La disminución de potencia en este caso es de 25 watts, generando 8% menos de iluminación.
5. Lámpara eficiente, luminario convencional y balastro electrónico. Este arreglo genera 10% menos de iluminación y hace que disminuya la potencia total en 32 watts. Solamente 7 watts más que el arreglo anterior. Sin embargo su ventaja no sólo está en el ahorro de energía sino también en el

mejor funcionamiento de la lámpara y en la disminución del factor de potencia.

6. Lámpara convencional, luminario de aluminio y balastro eficiente. Este arreglo plantea un cambio en el luminario. Para poder generar la misma iluminación que el convencional, se supone la utilización de una lámpara de 40 watts y una de 20 para el caso de 2 x 40 y para el de 2 x 30 una de 39 y una de 20. El luminario de aluminio hará que la potencia total de los nuevos arreglos disminuya en 26 watts.

7. Lámpara eficiente, luminario de espejo y balastro eficiente. En este caso, debido a que el luminario de espejo casi duplica la eficiencia del arreglo, se sustituye el luminario de 2 x 40 a uno de 1 x 40, lo cual hace que dando el 96% de la iluminación, se utilice un arreglo de 32 watts de potencia, 46 watts menos que el convencional.

8. Lámpara eficiente, luminario de espejo y balastro electrónico. Este es el arreglo más eficiente y el que mejor funcionamiento brinda. La disminución en potencia respecto al convencional es de 48 watts, casi la mitad.

Para los focos fluorescentes de 75 y 110 watts que corresponden a alta luminosidad, no se comercializan actualmente en México balastos más eficientes y existen muy pocos datos acerca del aumento de la eficiencia al cambiar el luminario, por esa razón sólo se analiza el cambio de un arreglo convencional por uno donde la lámpara sea eficiente.

El análisis que se realiza, utiliza los precios de la energía que corresponden a las tarifas 2 y 3 de la Comisión

Federal de Electricidad que representan, según la propia CFE a los usuarios del sector comercial, incluido el sector servicios. Los consumidores que quedan incluidos dentro de la tarifa 2 pagan un cargo fijo y un cargo, dividido en tre bloques, por el kWh consumido, dependiendo del consumo mensual de energía que tengan. Para este trabajo sólo se tomará en cuenta el costo por kWh, debido a que el cargo fijo es el mismo para todos los consumidores y en el análisis de rentabilidad de una tecnología influye el costo de la energía dependiendo del consumo.

Para el caso de la tarifa 3, el costo de la energía no está dado por bloques de consumo sino por la suma de cargos fijos, cargos por consumo de energía y cargos por utilización de cierta potencia.

Para el cargo debido al consumo de energía, el costo en un mes está dado por el producto de la energía consumida en dicho periodo por el costo del kWh.

Para el cargo por potencia el cálculo del costo mensual es un poco más complicado. Este está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Costo por potencia} = \frac{\text{Cargo por potencia}}{\text{factor de carga} * \text{horas al mes}}$$

Y a su vez, el llamado factor de carga, está dado por el cociente de la demanda media de potencia entre la demanda máxima. Es decir:

$$\text{Factor de carga (FC)} = \frac{\text{demanda media de potencia}}{\text{demanda máxima de potencia}}$$

El primer dato se obtiene de medición directa y el segundo es el producto del consumo de energía mensual (también medido) por las horas que contiene el mismo mes.

De esta forma, para la tarifa 3, se puede calcular un costo por kWh ponderado dado por la siguiente suma:

$$\begin{array}{r}
 \text{(Carga por KWh)} \\
 + \\
 \text{(Carga por KW / (FC* horas al mes)} \\
 \hline
 \text{Costo kWh ponderado}
 \end{array}$$

En el caso de interés, debido a que se analiza el consumo de energía y la potencia de los arreglos individualmente, es decir para cada uno por separado, el factor de carga resulta ser igual a uno, pues no existe diferencia entre la potencia máxima y la potencia media.

A continuación se presentan algunos datos relevantes de los resultados obtenidos.

Como puede observarse en el cuadro 3.5, para el caso de la sustitución de los tubos fluorescentes de 40 watts, la factibilidad de cualquier cambio de arreglo lámpara-balastro-luminario, existe para cualquier precio de la energía de las tarifas 2 y 3. Como se muestra, el cambio menos rentable es el que implica cambiar balastro convencional por electrónico y tubo convencional por eficiente, manteniendo el luminario convencional. Esto es así debido al alto costo del balastro electrónico, aun así para el precio más bajo de la electricidad, este cambio tiene una rentabilidad de 7% más que la convencional.

RENDELIOR DE LA SUSTITUCION DE UN LUMINARIO CONVENCIONAL DE 2 X 40 WATT POR UN LUMINARIO DE 2 X 40 WATT

Lámpara	Convencional	Convencional	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Convencional	Eficiente	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Aluminio	Espejo	Espejo
Balastro	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente	Electrónico	Eficiente	Eficiente	Electrónico
Iluminación	100%	100%	96%	90%	90%	100%	96%	96%
Potencia lámpara (2) Watts	80	80	64	64	62	65	34	32
Potencia balastro Watts	16	5	16	5	2	5	5	2
Vida lámpara años	4	4	4	4	4	4	4	4
Vida balastro años	6	10	6	10	20	10	10	20
Vida luminario años	10	10	10	10	10	10	10	10
Costo lámpara (2) \$	10000	10000	12600	12600	12600	10000	12600	12600
Costo balastro \$	20000	50000	20000	50000	190000	50000	50000	190000
Costo luminario \$	25000	25000	25000	25000	25000	50000	100000	100000
Consumo anual de Energía #/kWh	208	285	240	207	192	210	117	102
Costo anualizado \$	11615	15361	12636	16181	30361	19429	20387	42567
Costo de Energía Ahorrada \$/kWh c dill/kWh	---	107 4	17 1	54 2	193 7	98 3	97 3	165 6

TARIFA 2

Precio de la energía \$/kWh	Costo anualizado total para bloques de precio de la energía (\$/año)							
220	75253	71529	65501	61777	72663	65686	54158	65034
	100%	95%	87%	82%	92%	87%	72%	86%
275	91154	85608	78751	73205	83253	77280	60618	70666
	100%	94%	86%	80%	91%	85%	67%	78%
308	100508	93890	86546	79923	89489	84101	64418	73979
	100%	93%	86%	80%	89%	84%	64%	74%

TARIFA 3

Precio de la energía \$/kWh	Periodo de reembolso años							
275	90545	85069	78244	72768	82048	76037	60371	70450
	100%	94%	86%	80%	91%	85%	67%	78%
220		0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,8
275		0,4	0,1	0,2	0,7	0,4	0,4	0,6
308		0,3	0,1	0,2	0,5	0,3	0,3	0,5
273		0,4	0,1	0,2	0,7	0,4	0,4	0,6

1. Para la tarifa 2 se toma en cuenta solamente el costo por kWh, sin considerar el cargo fijo. El \$/kWh ponderado de la tarifa 3 se calcula sumando el \$/kWh (151.7) más el \$/kWh (30467) suponiendo 10 horas de prendido diario y un promedio de 720 horas al mes.
2. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año.
3. El costo de energía ahorrada se calcula respecto a la opción convencional a una tasa de descuento del 10%.
4. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes.
5. En el caso de los luminarios los datos técnicos provienen de la referencia.
6. Para el luminario de aluminio se supone una lámpara de 40 y una de 20 para tener la iluminación de 2x40.
7. Para el luminario de espejo se supone que una lámpara de 1 x 40 sustituye una de 2 x 40.
8. El periodo de reembolso supone que el precio de la energía es constante.

AHORRO DE ENERGÍA EN EL USO DE UN APAREJO LAMPARA-LUMINARIO-BALASTRO  
 RENTABILIDAD DE LA SUSTITUCION DE UN APAREJO LAMPARA-LUMINARIO-BALASTRO DE 2 X 3

Lámpara	Convencional	Convencional	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Convencional	Eficiente	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Aluminio	Espeso	Espeso
Balastro	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente	Electrónico	Eficiente	Eficiente	Electrónico
Illuminación	100%	100%	96%	92%	90%	100%	96%	96%
Potencia lámpara (2) watts	78	70	64	64	60	65	52	30
Potencia balastro watts	16	5	16	5	2	5	5	2
Vida lámpara años	4	4	4	4	4	4	4	4
Vida balastro años	6	10	6	10	20	10	10	20
Vida luminario años	10	10	10	10	10	10	10	10
Costo lámpara (2) \$	10000	10000	12600	12600	12600	10000	12600	12600
Costo balastro \$	20000	50000	20000	50000	190000	50000	50000	190000
Costo luminario \$	25000	25000	25000	25000	25000	50000	50000	100000
Consumo anual de Energía kWh	338,4	298,8	208	248,4	223,2	210	111	96
Costo anualizado \$	11815	15361	12636	16101	30361	19429	20387	42567
Costo de Energía Ahorrada \$/kWh c dil/kWh	---	90	16	19	161	59	73	127
		3	1	2	6	2	3	4

TARIFA 2								
Precio de la energía \$/kWh	Costo anualizado total para bloques de precio de la energía (\$/año)							
220	86555	81177	76073	70095	79525	65606	52937	63713
	100%	94%	88%	82%	72%	76%	61%	74%
275	105038	97674	91974	84610	91048	77280	58965	69013
	100%	93%	88%	81%	74%	74%	56%	66%
308	116023	107379	101328	92678	99098	84101	62570	72131
	100%	93%	87%	80%	72%	72%	54%	62%

TARIFA 3								
Precio de la energía \$/kWh	Periodo de reembolso años							
273	3241733	97043	91366	84005	91377	76937	58731	68810
	100%	94%	79%	72%	79%	66%	51%	59%
220		0,4	0,1	0,2	0,7	0,3	0,3	0,6
275		0,3	0,1	0,2	0,6	0,2	0,3	0,5
308		0,3	0,1	0,2	0,5	0,2	0,2	0,4
273		0,3	0,1	0,2	0,5	0,2	0,3	0,5

1. Para la tarifa 2 se toma en cuenta solamente el costo por kWh, sin considerar el cargo fijo. El \$/kWh ponderado de la tarifa 3 se calcula sumando el \$/kWh (51,7) más el \$/kWh (30467) suponiendo 10 horas de prendido diario y un promedio de 720 horas al mes.
2. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año.
3. El costo de energía ahorrada se calcula respecto a la opción convencional a una tasa de descuento del 10%.
4. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes.
5. En el caso de los luminarios los datos técnicos provienen de la referencia.
6. Para el luminario de aluminio se supone una lámpara de 39 y una de 20 para tener la iluminación de 2439.
7. Para el luminario de espejo se supone que una lámpara de 1 H 39 sustituye una de 2 H 39.
8. El periodo de reembolso supone que el precio de la energía es constante.

Para el caso de los tubos de 39 watts, tabla 3.6 y para los de 75 y 45watts (tablas 3.7 y 3.8 respectivamente) el resultado es el mismo. Los cambios son rentables para cualquier tarifa.

En todos los cuadros se muestra el porcentaje que el Costo anualizado total de cada alternativa significa respecto al convencional, así como el Periodo de reembolso.

Estos resultados muestran la factibilidad que para el usuario tiene realizar las sustituciones tecnológicas. Evidentemente, el tipo de cambio depende de la posibilidad que el usuario tenga de realizar una inversión inicial. Aun así el periodo de reembolso de dicha inversión será siempre menor a un año.

Es importante señalar el ahorro que significa el cambio en los luminarios. Un luminario de espejo llega a ahorrar casi el 50% de la energía eléctrica y es una tecnología sencilla de construir y cuyo costo puede disminuir si se produce a gran escala. Una disminución en el costo de los luminarios espejados se reflejaría enormemente en la rentabilidad de esta tecnología.

RENTABILIDAD DEL CAMBIO DE UNA LAMPARA  
EFICIENTE DE 2 X 75

Lámpara	Convencional	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional
Balastro	Convencional	Convencional
Iluminación	100%	96%
Potencia lámpara (2) watts	150	120
Potencia balastro watts	25	25
Vida lámpara años	4	4
Vida balastro años	6	10
Vida luminario años	10	10
Costo lámpara (2) \$	14400	15600
Costo balastro \$	30000	30000
Costo luminario \$	40000	40000
Consumo anual de Energía \$/kWh	630	522
Costo anualizado \$	17941	16314
Costo de Energía Ahorrada \$/kWh c d11/kWh	---	-15 -1
TARIFA 2		
Precio de la energía \$/kWh		
220	75253 100%	61777 82%
275	91154 100%	73205 80%
308	100508 100%	79929 80%
TARIFA 3		
273	90545 100%	72760 80%
\$/kWh ponderado	17924	14977
Costo anualizado total \$/año	11310000	7782221

RENTABILIDAD DEL CAMBIO DE UNA LAMPARA  
EFICIENTE DE 2 X 110

LAMPARAS FLUORESCENTES

Lámpara	Convencional	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional
Balastro	Convencional	Convencional
Iluminación	100%	96%
Potencia lámpara(2) watts	220	190
Potencia balastro watts	25	25
Vida lámpara años	4	4
Vida balastro años	6	10
Vida luminario años	10	10
Costo lámpara (2) \$	26000	13000
Costo balastro \$	30000	30000
Costo luminario \$	40000	40000
Consumo anual de Energía \$/kWh	882	774
Costo anualizado \$	21600	15493
Costo de Energía Ahorrada \$/kWh c d11/kWh	---	-57 -1
TARIFA 2		
Precio de la energía \$/kWh		
220	75253 100%	61777 82%
275	91154 100%	73205 80%
308	100508 100%	79929 80%
TARIFA 3		
273	90545 100%	72760 80%
\$/kWh ponderado	25033	21986
Costo anualizado tot \$/año	22100603	17032791

TABLAS 3.7

1. Para la tarifa 2 se toma en cuenta solamente el costo por kWh, sin considerar el cargo fijo. El \$/kWh ponderado de la tarifa 3 se calcula sumando el \$/kWh (151.7) más el \$/kWh (30467) suponiendo 10 horas de prendido diario y un promedio de 720 horas al mes.
2. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año.
3. El costo de energía ahorrada se calcula respecto a la opción convencional a una tasa de descuento del 10%.
4. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes.
5. Como el Costo de Energía Ahorrada es negativo, no se calcula el Periodo de reembolso pues este sería también negativo.

### III.2. POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR TECNOLOGIA CONVENCIONAL POR EFICIENTE.

Desde el punto de vista del generador de la electricidad, el ahorro de energía significa la posibilidad de aplazar la construcción de nuevas unidades generadoras y por lo tanto mayor cobertura del crecimiento de la demanda de energía eléctrica.

Para realizar estos cálculos se utilizarán los datos del capítulo 2 acerca del costo de la energía producida por cada kwh de generación, los referentes al tipo de central generadora según su factor de planta, los usuarios por tarifa que señala CFE y finalmente los datos del apéndice 2 que muestran las ventas anuales de lámparas y el porcentaje de venta según las potencia de la lámpara.

Para desarrollar el análisis se dividirá en tres grandes apartados: el primero, el consumo, ilustra los cálculos del consumo actual de electricidad a partir de los datos de ventas y su comparación con la estimación obtenida por Dutt señalada en la introducción de este trabajo, el segundo referente a la iluminación residencial y el tercero a la iluminación comercial.

#### III.2.1. Consumo de energía para iluminación.

En el apéndice 2 se muestran los datos de ventas para todas las potencias y varios tipos de lámparas, que

se realizaron en México para los últimos cuatro años. Utilizando estos datos, se puede hacer un cálculo del consumo de energía eléctrica para iluminación por tipo de lámpara.

Las ventas de todos los tipos de lámparas para los últimos cuatro años han sido prácticamente constantes<sup>5</sup>. Esto simplifica el análisis al punto de que un promedio en las ventas de las lámparas para los últimos años es un dato muy cercano a la realidad. Así, tomando en cuenta la vida de cada foco, el promedio anual de ventas y el promedio pesado de la potencia de los focos, se obtienen los resultados de la tabla 2 del apéndice 2, que señalan que las lámparas incandescentes representan un consumo anual de 10140 GWh al año, es decir 48% del total; 8730 GWh para las fluorescentes lo cual representa un 43% y 1520 GWh (8%) anual para las de descarga de alta intensidad. Estos resultados implicarían que el consumo total por iluminación anual, calculado según los datos de ventas, es decir 20400 GWh representa el 23% del consumo total de electricidad que es de 110103 GWh al año. Como puede observarse este resultado es cercano a la estimación presentada en la introducción.

Sin embargo haciendo un análisis para el sector residencial, el consumo de 9900 GWh surgido del cálculo de los datos de ventas de focos (todas las incandescentes excepto las de más de 100 watts) al año implicaría que el

5 Como se muestra en la tabla 1 del apéndice 2.

50% del consumo de la electricidad doméstica es para iluminación, lo cual parece ser una cifra exageradamente alta (ver tabla 3.8), por lo cual se requiere hacer un análisis un poco más detallado.

Es en este sentido que se analiza cada uno de los factores que intervienen en el cálculo del consumo de energía en lámparas incandescentes, a partir de los datos de ventas. Estos factores son: vida de la lámpara, potencia de la misma y ventas anuales.

En relación a la vida de la lámpara puede suponerse que debido a la mala calidad del servicio eléctrico la vida real es menor a la nominal; supóngase 900 horas en vez de 1000.

La potencia del foco se supone correcta. En cambio, en el dato de número de ventas, es evidente que se está sobreestimando los focos que utiliza el sector doméstico, pues el sector comercial y servicios también utiliza focos incandescentes. Supóngase entonces, que el 20% de los focos incandescentes de cualquier potencia, que fueron vendidos en un año, serán utilizados por sectores distintos al doméstico.

De esta forma el cuadro 3.8 pasa a ser el 3.9 y se encuentra que bajo las nuevas suposiciones, el consumo por ventas representa el 37% del sector doméstico, lo cual es sumamente razonable.

Sin embargo, este resultado tiene como sustento una hipótesis del posible porcentaje que representa la iluminación en el consumo de energía eléctrica para los hogares, por esta razón, los análisis que se presentan a continuación, utilizan el dato nominal del fabricante en relación a la vida del foco incandescente (1000 horas), debido a que se requeriría de una comprobación experimental que asegurara que las suposiciones utilizadas para llegar a que el foco incandescente tiene una vida real de 900 horas son correctas.

### III.2.2. Iluminación residencial.

Como se señaló en el apartado referido al usuario, los cambios tecnológicos en el sector residencial son las lámparas incandescentes más eficientes y las compactas fluorescentes.

En esta sección interesa saber cuanta energía se puede ahorrar al realizarse un cambio de lámparas en el mayor número de hogares posibles. Por lo pronto, el análisis anterior muestra que para todas las potencias, desde 40 hasta 100 watts un cambio de convencional a compacta fluorescente es viable para el usuario, siempre y

cuando consuma más de 75kwh al mes, lo cual significa más del 68% de todos los usuarios domesticos del país.

Para evaluar el ahorro y la rentabilidad de un cambio desde el punto de vista de la generación, se realizan tres tipos de análisis. El primero calcula el ahorro a partir de la sustitución de lámparas tomando como base los datos de ventas. El segundo hace lo mismo pero los datos básicos son los usuarios por tarifa y el tercero calcula la eficiencia de un cambio en relación a los usuarios por bloque de tarifa residencial.

#### a) Ahorro según datos de usuarios.

Este análisis se realiza para cinco distintos escenarios y tomando por separado los focos incandescentes eficientes de los fluorescentes. El primero supone el cambio de un foco para el 10% de los usuarios domésticos y los otros, 25, 50, 75 y 100% respectivamente. Evidentemente el último caso es solamente un escenario teórico pues es prácticamente imposible que todos los usuarios domésticos cambiaran un foco convencional por uno eficiente.

Para relizar estas estimaciones, el cálculo del consumo anual de energía de cada tipo de lámpara se hace suponiendo que durante todos los días del año, ésta se mantuvo encendida durante cuatro horas diarias.

A continuación se presentan algunos de los resultados obtenidos.

Como lo muestra la tabla 3.10, el cambio en el caso de los focos de 40 watts por los incandescentes eficientes de 34 watts, el ahorro que se daría si el 50% de los usuarios domésticos sustituyeran un foco, sólo representa el 0.3% del consumo doméstico, es decir el 0.1% del nacional.

Para el caso del cambio por una fluorescente compacta de 9 watts, si el 25% de los usuarios realizaran la sustitución, esto representaría un ahorro del 0.8% del sector doméstico.

Para las lámparas convencionales de 60 watts se puede observar en el cuadro 3.11, que un cambio por una incandescente eficiente de 52 watts en el 50% de los usuarios domésticos implicaría un ahorro de tan sólo 0.4% del sector doméstico. El mismo cuadro muestra como el cambio de una convencional de 60 watts por una compacta fluorescente de 13 watts significaría un ahorro en la mitad de los usuarios de 2.5% del consumo doméstico y en el 25% de los consumidores uno de 1.2% del mismo sector.

Por otro lado, en la tabla 3.12 puede verse que los focos de 75 watts, al ser sustituidos por los fluorescentes de 18 watts, generan un ahorro máximo del 6% del consumo doméstico nacional y en el 25% de los mismos un ahorro para el sector de 1.5% .

Y finalmente para el caso de las lámparas de 100 watts la alternativa es la fluorescente compacta de 18 watts de potencia y la eficiente de 90. Como se observa en

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR EN UN PORCENTAJE DEL TOTAL DE USUARIOS DOMESTICOS  
UN FOCO DE 40 WATT.

	Incandescente convencional	Incandescente eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	40	34	9
Consumo eléctrico p. lamp. anual (Kwh)	58,4	49,6	13,1
Ahorro respecto a la convencional	---	8,8	45,3
Total de usuarios domesticos		13609000	
Ahorro anual al sustituir un % del total de usuarios			
	10%		
GWh		12	62
% domestico		0,1%	0,3%
%total		,0%	0,1%
	25%		
GWh		30	154
% domestico		0,2%	0,8%
%total		,0%	0,2%
	50%		
GWh		60	308
% domestico		0,3%	1,6%
%total		0,1%	0,3%
	75%		
GWh		89	462
% domestico		0,5%	2,5%
%total		0,1%	0,5%
	100%		
GWh		119	616
% domestico		0,6%	3,3%
%total		0,1%	0,7%

1. Se esta suponiendo que se cambia una lampara de 40 watts en determinado porcentaje de consumidores domesticos
2. El consumo domestico de energia electrica es de 18.813 Twh
3. El consumo anual de electricidad es de 110103 GWh
4. Datos basicos de CFE

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR EN UN PORCENTAJE DEL TOTAL DE USUARIOS DOMESTICOS  
UN FOCO DE 60 WATTS

	Incandescente convencional	Incandescente eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	60	52	13
Consumo eléctrico anual (Kwh)	87,6	75,9	19,0
Ahorro respecto a la convencional	---	11,7	68,6
Total de usuarios domesticos		13609000	
Ahorro anual al sustituir un % del total de usuarios			
	10%		
GWh		16	93
% domestico		0,1%	0,5%
%total		,0%	0,1%
	25%		
GWh		40	233
%domestico		0,2%	1,2%
%total		,0%	0,3%
	50%		
GWh		79	467
%domestico		0,4%	2,5%
%total		0,1%	0,5%
	75%		
GWh		119	700
%domestico		0,6%	3,7%
%total		0,1%	0,8%
	100%		
GWh		159	934
%domestico		0,8%	5,0%
%total		0,2%	1,1%

TABLA 3.11

1. Se esta suponiendo que se cambia una lampara de 60 watts en determinado porcentaje de consumidores domesticos
2. El consumo domestico de energia electrica es de 18810 GWh
3. El consumo total es de 110103 GWh
4. Datos basicos de CFE

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE DEL TOTAL DE USUARIOS DOMESTICOS  
DE FOCOS DE 75 WATTS

	Incandescente convencional	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	75	18
Consumo eléctrico anual (Kwh)	109,5	26,3
Ahorro respecto a la convencional	---	83,2
Total de usuarios domesticos	13609000	
Ahorro anual al sustituir un % del total de usuarios para el:		
10%		
GWh		113
% domestico		0,6%
%total		0,1%
25%		
GWh		283
%domestico		1,5%
%total		0,3%
50%		
GWh		566
%domestico		3,0%
%total		0,5%
75%		
GWh		849
%domestico		4,5%
%total		0,8%
100%		
GWh		1133
%domestico		6,0%
%total		1,0%

TABLA 3.12

1. Se esta suponiendo que se cambia una lampara de 40 watts en determinado porcentaje de consumidores domesticos
2. El consumo domestico de energia electrica es de 18813 GWh
3. El consumo total es de 110103 GWh
4. Datos basicos de CFE

la tabla 3.13, un cambio por una incandescente eficiente de 90 watts implicaría un ahorro de que va del 0.01 al 0.2% del consumo nacional. El cuadro muestra que un cambio de una lámpara de 100 watts convencional por una de 18, podría generar un ahorro del 5% del sector doméstico para el 50% de los usuarios y de 9% para el 100% de los usuarios.

**b) Ahorro según datos de ventas.**

Para estimar el ahorro de energía tomando como base los datos de ventas, el cálculo del consumo para la lámpara convencional y para las eficientes se realiza de manera distinta al caso anterior. Debido a que se tiene el dato de las ventas anuales por potencia, el consumo de energía eléctrica de un foco convencional, como se mencionó en la sección III.2.1., está dado por el producto de la potencia, la vida en horas de la lámpara y las ventas anuales.

Para el caso de las lámparas eficientes, como no se conocen las ventas anuales que se generarían con la sustitución, se supone que éstas serán menores en un porcentaje igual a la relación de vidas. Es decir, para la incandescente eficiente se vendería la cuarta parte de las ventas de incandescentes actuales (la vida es cuatro veces mayor en relación a la convencional) y la décima parte de las ventas en el caso de la compacta fluorescente (la vida de ésta última es diez veces mayor).

Por otro lado, como se está proponiendo la sustitución de lámparas convencionales por eficientes para aquellas de

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE DEL  
DE FOCOS DE 100 WATTS

CONSUMIDORES DOMESTICOS

	Incandescente convencional	Incandesc eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)*	100	90	18
Consumo eléctrico anual (Kwh)	146,0	131,4	16,3
Ahorro respecto a la convencional	---	14,6	19,7
Total de usuarios domesticos		13609000	
Ahorro anual al sustituir un % del total de usuarios para el:			
	10%		
GNh		20	169
% domestico		0,1%	0,3%
%total		,0%	0,1%
	25%		
Twh		50	407
%domestico		0,3%	2,2%
%total		0,1%	0,4%
	50%		
Twh		99	815
%domestico		0,5%	4,3%
%total		0,1%	0,7%
	75%		
Twh		149	1222
%domestico		0,8%	6,5%
%total		0,2%	1,1%
	100%		
Twh		199	1629
%domestico		1,1%	8,7%
%total		0,2%	1,5%

1. Se esta suponiendo que se cambia una lampara de 40 watts en determinado porcentaje de consumidores domesticos
2. El consumo domestico de energia electrica es de 18813 GNh
3. El consumo total es de 110103 GNh
4. Datos basicos de CFE

mayor uso ( 3 ó 4 horas diarias) el cálculo del ahorro basado en los datos de ventas solamente se estima para el 10, 20 y 30% de éstas últimas, suponiendo que 30% de las ventas totales sería el máximo de focos vendidos que se utilizarían tres o más horas diarias.

Por otro lado, el utilizar estos porcentajes (10, 20 y 30%) permite suponer que las sustituciones se dan en el sector doméstico, ya que aun cuando el 20% del total de ventas (ver sección anterior) se fuera a otros sectores, el 30% de dicho total, considerado como el porcentaje de focos que se utilizan tres o mas horas , vendría a ser el 37% del sector doméstico, lo cual está dentro de los marcos posibles.

A contunuación se muestran algunos resultados.

Como se puede observar en la tabla 3.14, el ahorro en el total del consumo nacional que se generaría si en vez de el 30% de las ventas totales de incandescentes de 40 watts, fuera sustituido por incandescentes eficientes, sería de tan sólo 0.08%, 0.39% del doméstico. En cambio si ese mismo porcentaje fuera sustituido por compacta fluorescente de 9 watts, el ahorro sería de 0.14% y 0.64 del doméstico.

Por otro lado las tablas 3.15, 3.16 y 3.17 muestran la disminución en el consumo de energía eléctrica en la sustitución de lámparas convencionales de 60, 75 y 100 watts respectivamente. Estas muestran que el ahorro que se generaría al sustituir el 30% de los focos vendidos de 60, 75 y 100 watts por compactas fluorescentes sería de 2.25%

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE DEL TOTAL DE VENTAS  
DE FOCOS DE 40 WATTS

	Incandescente convencional	Incandescente eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	40	34	9
Vida de la lampara horas	1000	2500	10000
Total ventas anuales millones	13,0	3,3	1,3
Ahorro anual al sustituir del total de ventas el:			
10%			
GWh		24,4	40,9
% del total(*)		0,03%	0,05%
% domestico		0,13%	0,21%
20%			
GWh		48,8	80,6
%total		0,06%	0,09%
% domestico		0,26%	0,43%
30%			
GWh		73,1	120,9
%total		0,08%	0,14%
% domestico		0,39%	0,64%

- 
1. El consumo se obtiene multiplicando potencia \* horas de vida \* ventas
  2. Los datos de ventas los proporciono OSRAM
  - \* El consumo anual de electricidad fue de 110103 GWh para 1989
  - \* % del total de consumo anual de electricidad en Mexico para 1989
  3. El ahorro es respecto al convencional en todos los casos

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE DEL TOTAL DE VENTAS  
DE FOCOS DE 60 WATTS

	Incandescente convencional	Incandescente eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	60	52	1
Vida de la lampara horas	1000	2500	10000
Total ventas anuales millones	39,9	10,0	4,1
Ahorro anual al sustituir del total de ventas el:			
	10%	109,7	579,1
GWh		0,12%	0,20%
% del total(*)		0,58%	0,95%
% domestico	20%	219,5	359,1
GWh		0,25%	0,41%
%total		1,17%	1,91%
% domestico	30%	329,2	530,7
GWh		0,37%	0,61%
%total		1,75%	2,86%
% domestico			

1. El consumo se obtiene multiplicando potencia \* horas de vida \* ventas
2. Los datos de ventas los proporciono OSRAM
- \* El consumo anual de electricidad fue de 110103 GWh para 1983
- \* % del total de consumo anual de electricidad en Mexico para 1983
3. El ahorro es respecto al convencional en todos los casos

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE DEL TOTAL DE VENTAS  
DE FOCOS DE 75 WATTS

	Incandescente convencional	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	75	18
Vida de la lampara horas	1000	10000
Total ventas anuales millones	19,0	5,3
Ahorro anual al sustituir del total de ventas el:		
	10%	
GWh		46,7
% del total(*)		0,05%
% domestico		0,25%
	20%	
GWh		93,5
% total		0,11%
% domestico		0,50%
	30%	
GWh		140,2
% total		0,16%
% domestico		0,75%

1. El consumo se obtiene multiplicando potencia \* horas de vida \* ventas
2. Los datos de ventas los proporciona OSRAM
- \* El consumo anual de electricidad fue de 110103 GWh para 1989
- \* % del total de consumo anual de electricidad en Mexico para 1989
3. El ahorro es respecto al convencional en todos los casos

LI7

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE DEL TOTAL DE VENTAS  
DE FOCOS DE 100 WATTS

	Incandescente convencional	Incandesc eficiente	Fluorescente compacta
Potencia (watts)	100	90	18
Vida de la lampara horas	1000	2500	10000
Total ventas anuales millones	53,2	13,3	5,3
Ahorro anual al sustituir del total de ventas el:			
	10%		
GWh		232,8	436,2
% del total(*)		0,26%	0,49%
% domestico		1,24%	2,32%
	20%		
GWh		465,5	872,5
%total		0,53%	0,99%
% domestico		2,47%	4,64%
	30%		
GWh		698,3	1308,7
%total		0,79%	1,48%
% domestico		3,71%	6,96%

- 
1. El consumo se obtiene multiplicando potencia \* horas de vida \* ventas
  2. Los datos de ventas los proporciono OSRAM
  - \* El consumo anual de electricidad fue de 110103 GWh para 1989
  - \* % del total de consumo anual de electricidad en Mexico para 1989
  3. El ahorro es respecto al convencional en todos los casos

del consumo total nacional anual. Así mismo si ese mismo porcentaje de sustitución fuera cambiado por incandescentes eficientes en vez de las convencionales de 60 y 100 watts, el ahorro sería de 1.16% del consumo nacional.

Relacionando los cuadros referidos al ahorro de energía tomando como base el número de usuarios domésticos y el total de ventas nacionales de focos incandescentes, pueden encontrarse algunos resultados importantes.

a) El ahorro generado al sustituir el 30% de las ventas de incandescentes de 40 watts por fluorescentes compactas de 9, implicaría que el 20% de los usuarios del sector realizaran esta sustitución.

b) El ahorro generado al sustituir el 30% de las ventas de incandescentes convencionales de 60 watts por compactas fluorescentes equivaldría a que alrededor del 60% de los consumidores domésticos tuvieran que realizar una sustitución de este tipo.

c) Suponiendo la misma sustitución para el caso de 75 watts, implicaría que la sustitución en el 30% de las ventas equivale a un cambio en el 20% de los usuarios.

d) Para las incandescentes de 100 watts, un cambio semejante implicaría que la sustitución en el 30% de las ventas implicaría un cambio en un poco más del 75% de los usuarios.

A partir de estos datos, pueden hacerse diversas combinaciones en la sustitución de focos para diversos porcentajes de usuarios que generen distintos escenarios posibles de ahorro de energía, por ejemplo:

a) Supongase que el 25% de los usuarios cambian una lámpara convencional de 40W por una incandescente eficiente de 34. El 25% también, cambian una convencional de 60W por una eficiente incandescente de 52. Un 10% cambia una convencional de 100W por una eficiente de 90 y otro 10% por una fluorescente de 18W. Esto implicaría un ahorro de  $(30 + 40 + 20 + 163)$  decir 257 GWh al año, lo cual implica, 1.3% del consumo doméstico nacional.

b) El 25% de los usuarios cambian una lámpara convencional de 40W por una incandescente eficiente de 34. El 10% una lámpara convencional de 60W por una eficiente de 52 y el 10% por una fluorescente compacta de 13. Otro 10% de los usuarios cambian una incandescente de 100W por una eficiente de 90 y 25%, una de 100 W por una compacta fluorescente de 18W. Esto implica un ahorro de  $(30 + 16 + 93 + 20 + 407)$  GWh, es decir 560 GWh, 3.1% del sector domestico, en otras palabras 1.4 veces la generación actual de la nucleoeléctrica de Laguna Verde.

c) 10% de los usuarios sustituyen una incandescente de 40W por una de 34 y otro 10% por una fluorescente de 9. Tambien 10% de usuarios cambian incandescente de 60W por eficiente de 52 y 10% por compacta fluorescente de 13. El 10% cambia a fluorescente de 18 en vez de inandescente de 75 W y finalmente 10% sustituye un incandescente de 100 por uno de 90 y el 25% instala fluorescente de 18 w en vez de incandente de 100. Esto genera un ahorro de  $(12 + 62 + 16 + 93 + 113 + 20 + 407)$  GWh) es decir 723 GWh, 3.9% del

consumo domestico nacional, ó 3.5 plantas generadoras de 350MW funcionando con un factor de planta del 60%.

Una mejor estimación del ahorro de electricidad en iluminación en el sector domestico puede calcularse evaluándolo por bloque de precio de la energía, debido a que se conoce la cantidad de usuarios en cada bloque y la rentabilidad del cambio tecnologico.

### **c) Ahorro por bloque de precio del KWh domestico**

Las tabla 3.18 señala el porcentaje de usuarios por bloque de consumo y el precio de la energía según dicho bloque.

Es impotante mencionar que estos bloques y los porcentajes corresponden a la tarifa 1 del sector doméstico que representa las zonas que no son de clima cálido. Estos datos se utilizan para todos los usuarios del sector mencionado, es decir a partir de estos bloques se extrapola para las tarifas 1a, 1b y 1c. Es de hacer notar que esta aproximación va en detrimento del ahorro de energía, debido a que en las zonas de clima cálido el consumo aumenta por el aire acondicionado. Así, el porcentaje de usuarios que pertenecen al bloque de mayor consumo es mayor y por lo tanto el ahorro de enrgía tambien.

Las tabla 3.20 muestra el ahorro generado al hacer cambios para cada estrato. Se analizan cambios en la

lámpara convencional de 60, y 100 watts, que son las de mayor uso.

En todos los casos se supone que mientras mayor sea el consumo de energía mayor la posibilidad de cambio tecnológico. Por esta razón y de acuerdo con los resultados de la rentabilidad del cambio para cada estrato se estima que para el usuario que paga el precio de \$43/kWh no existe posibilidad de cambio, para el bloque de \$61/kWh, sólo el 20% de los usuarios podrá realizar la sustitución y sólo en el caso de el foco de 60W. Para el tercer estrato, el que paga como máximo \$80/kWh, el 30% podrá cambiar. En el cuarto bloque ( \$93/kWh) el 40% de los consumidores que lo tienen como precio máximo están en condiciones de sustitución. En el quinto será el 50% y en el último, el 60%.

También se estima el número de focos que pueden sustituirse en cada hogar. El máximo es de 3 focos, pues se valora que en un hogar este es el promedio de focos que se mantiene encendido 4 horas durante la hora pico.

Finalmente, solamente se realiza este ejercicio para la sustitución de focos convencionales por focos fluorescentes compactos pues es donde mayor potencial de ahorro existe.

Para el escenario planteado en la tabla 3.20, se obtiene un ahorro de 2526 GWh, es decir, 13.4% del consumo doméstico nacional, lo cual implicaría (en términos de centrales de generación de turbina de gas) 267 millones de dólares o una planta de 500 MW funcionando a 60% de factor de carga.

## TARIFAS DOMESTICAS SEGUN CONSUMO DE ENERGIA

## PARA LA TARIFA 1

Consumo kwh	Tarifa \$/kwh
1 a 25	43
26 a 50	61
51 a 75	80
76 a 100	93
101 a 200	103
201 ---	325

TABLA 3.18

ENERGIA SEGUN DATOS DE NUMERO DE USUARIOS POR TARIFA (CFE)  
TARIFA 1

Total de usuarios domesticos		10000000 *
Consumo mensual ** kwh	usuarios	acumulado
0 a 25	1,51%	1,51%
26 a 50	5,94%	7,45%
51 a 75	10,81%	19,26%
76 a 100	14,56%	32,82%
101 a 150	24,39%	57,21%
151 a 200	14,32%	71,53%
201 a 300	12,64%	84,17%
301 a 500	8,02%	92,19%
501 a 1000	4,47%	96,66%
1001...	3,34%	100,00%

---

Datos de Comision Federal de Electricidad  
\* Suma de tarifas 1, 1a, 1b, 1c  
\*\*Para ciudades de la tarifa 1

AHORRO DE ENERGIA POR CADA BLOQUE DE PRECIO DE LA TARIFA 1  
AL CAMBIAR INCANDESCENTE DE 100 Y 60 W POR COMPACTAS FLUORESCENTES DE 10 Y 15 W RESPECTIVAMENTE

Precio por bloque S/kwh	usuarios por bloque %	usuarios que cambian foco %	# de lamparas a sustituir por hogar de		Ahorro dom Ghh	Ahorro domest. %	Ahorro en dls
			60 W	100 W			
43	2%	0%	0	0	0,0	0,0%	0,00E+00
61	6%	20%	0	0	0,0	0,0%	0,00E+00
80	11%	30%	1	2	136,0	0,7%	1,41E+07
93	15%	40%	1	2	244,2	1,3%	2,50E+07
103	39%	50%	2	2	992,2	5,3%	1,05E+08
325	28%	60%	2	3	1154,0	6,1%	1,22E+08
Total					2526	13,4%	2,67E+08

- \* El porcentaje de cambio es la fraccion de usuarios de un bloque de consumo electrico que sustituyen la tecnologia convencional por la eficiente
- \* El porcentaje de usuarios es la fraccion de todos los consumidores del sector domestico que pertenecen al bloque de consumo y precio de la electricidad que aparece en la columna del precio
- \* El numero de lamparas es el total de lamparas eficientes que sustituyen a la convencional
- \* Se considera turbina de gas por ser generacion de pico y
- \* el costo por kWh es de 307 pesos tomando 18% de pérdidas por distribucion, transmision y comercializacion

### III.2.3. Iluminación comercial.

La estimación de ahorro energético para este caso, es distinto que para el sector domestico. En el residencial, el dato de numero de usuarios es fundamental, pues, a pesar de la diferenciacion social, el tipo de usuario puede considerarse como uniforme.

En cambio, en el sector comercial y publico, un usuario puede diferir mucho de otro en la actividad que desempeña y por tanto en el tipo de iluminación que requerirá. Por esta razon se estima el potencial de ahorro de las lamparas fluorescentes, balastos y luminarios de la siguiente manera.

De los datos de ventas que aparecen en el apendice 2, se obtiene el consumo de electricidad en un año, y a partir de ahí se calcula el numero de lamparas, suponiendo que se utilizan 10 horas diarias durante 300 dias al año. Así, el numero de lámparas vendidas en un año, multiplicado por la vida de las lámparas y dividido entre el número de horas de uso diario por los dias del año, da una estimacion de la cantidad de lamparas que se encuentran en servicio.

Los resultados muestran que existen 4.3 millones de arreglos de 2 x 40 , 6.8 millones de 2 x 39, tambien 6.8 millones de 2 x 75 y para 2 x 110, 800 mil.

De esta forma se calcula el ahorro en los distintos tipos de lamparas al sustituir diferentes arreglos de

lampara-balastro-luminario (como lo muestran las tablas ) en el 10, 25, 50, 75 y 100% del total de las lámparas en uso.

Tomando en cuenta que los usuarios de las tarifas dos y tres de la electricidad suman 1.6 millones y haciendo una gruesa estimacion al suponer que la distribucion de las lamparas fuera uniforme, cada usuario tendria 2.8 arreglos de 2 x 40, 4.3 de 2 x 39, 4.3 de 2 x 110 y 0.45 de 2 x 110, lo cual es un dato coherente.

Por otro lado, es importante mencionar que la estimación al suponer que todas las lámparas de las potencias antes descritas son utilizadas en el sector comercial puede sobrestimar el resultado del potencial de ahorro por el sector. Por esta razon tambien se presenta el ahorro que la sustitucion representa en el consumo nacional de electricidad, lo cual es independiente del sector donde se utilice la lampara.

Los resultados obtenidos se encuentran en las tablas que van de la 3.21 a la 3.27, donde se calcula el ahorro en GWh, el porcentaje que este significa de las tarifas 2 y 3, del total del consumo electrico nacional y el ahorro en dólares tomando al carbón y al combustóleo como el combustible de las plantas que generan la electricidad para este uso.

Esto último se debe a que el combustóleo es utilizado en gran cantidad en nuestro país y a que el carbon será de gran importancia para la generación de electricidad en el

AHORRO DE ENERGIA EN LAMPARAS FLUORESCENTES AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE  
DE ELEMENTOS O ARREGLOS LAMPARA-BALASTRO-LUMINARIO DE  
2 X 40 WATTS

Lámpara	Convencional	Convencional	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Convencional	Eficiente	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Aluminio	Espejo	Espejo
Balastro	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente	Electrónico	Eficiente	Eficiente	Electrónico
Potencia total (2) watts	96	85	80	69	64	70	39	34
Consumo anual de Energía (kWh)	248	255	240	207	192	210	117	102
Ahorro respecto a convencional (kWh)	---	33	40	61	96	78	171	186
Total de arreglos de 2 x 40w	4,32E+06							
Ahorro al cambiar:								
10%	---	14	21	35	41	34	74	80
% tarifas 2,3		0,2%	0,3%	0,5%	0,6%	0,5%	1,0%	1,1%
% total		,0%	,0%	,0%	,0%	,0%	0,1%	0,1%
25%		36	52	87	104	84	185	201
% tarifas 2,3		0,5%	0,7%	1,2%	1,4%	1,1%	2,5%	2,7%
% total		,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%
50%		71	104	175	207	168	369	402
% tarifas 2,3		1,0%	1,4%	2,3%	2,8%	2,3%	4,9%	5,4%
% total		0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,4%	0,5%
75%		107	156	262	311	253	554	603
% tarifas 2,3		1,4%	2,1%	3,5%	4,2%	3,4%	7,4%	8,1%
% total		0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,3%	0,6%	0,7%
100%		143	207	350	415	337	739	804
% tarifas 2,3		1,9%	2,8%	4,7%	5,5%	4,5%	9,9%	10,8%
% total		0,2%	0,2%	0,4%	0,5%	0,4%	0,8%	0,9%

1. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año
2. El número de lámparas se calcula por los datos de ventas.
3. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes
4. En el caso de los luminarios los datos técnicos provienen de la referencia
5. Para el luminario de aluminio se supone una lámpara de 40 y una de 20 para tener la iluminación de 2x40
6. Para el luminario de espejo se supone que una lámpara de 1 x 40 sustituye una de 2 x 40
7. La potencia descrita es para lámpara y balastro
8. El consumo de tarifa 2 y 3 es 747,4 kWh y total es 110103 kWh

AHORRO DE ENERGIA EN LAMPARAS FLUORESCENTES AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE  
DE ELEMENTOS O ARREGLOS LAMPARA-BALASTRO-LUMINARIO DE  
2 X 39 WATTS

Lámpara	Convencional	Convencional	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Convencional	Eficiente	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Aluminio	Espejo	Espejo
Balastro	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente	Electrónico	Eficiente	Eficiente	Electrónico
Potencia total (2) watts	94	83	80	69	62	70	37	32
Consumo anual de Energía (kWh)	282	249	240	207	186	210	111	96
Ahorro respecto a convencional (kWh)	---	33	42	75	96	72	171	186
Total de arreglos de 2 x 39 W	6,80E+06							
Ahorro al cambiar:								
10%	---	22	29	51	65	49	116	126
% tarifas 2,3		0,3%	0,4%	0,7%	0,9%	0,7%	1,6%	1,7%
% total		,0%	,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
25%		56	71	128	163	122	291	316
% tarifas 2,3		0,8%	1,0%	1,7%	2,2%	1,6%	3,9%	4,2%
% total		0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,3%	0,4%
50%		112	143	255	326	245	581	632
% tarifas 2,3		1,5%	1,9%	3,4%	4,4%	3,3%	7,8%	8,5%
% total		0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,3%	0,7%	0,7%
75%		168	214	303	490	367	872	949
% tarifas 2,3		2,3%	2,9%	5,1%	6,6%	4,9%	11,7%	12,7%
% total		0,2%	0,2%	0,4%	0,6%	0,4%	1,0%	1,1%
100%		224	286	510	653	490	1163	1265
% tarifas 2,3		3,0%	3,6%	6,8%	8,7%	6,6%	15,6%	16,9%
% total		0,3%	0,3%	0,6%	0,7%	0,6%	1,3%	1,4%

1. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año
2. El número de lámparas se calcula por los datos de ventas.
4. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes
5. En el caso de los luminarios los datos técnicos provienen de la referencia
6. Para el luminario de aluminio se supone una lámpara de 40 y una de 20 para tener la iluminación de 2x40
7. Para el luminario de espejo se supone que una lámpara de 1 x 40 sustituye una de 2 x 40
8. La potencia descrita es para lámpara y balastro
9. El consumo de tarifa 2 y 3 es 7474 kWh y total es 110103 kWh

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UNA LAMPARA DE  
2 X 75 WATTS

Lámpara	Convencional	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional
Balastro	Convencional	Convencional
Potencia total (W)	175	145
Consumo anual de Energía	525	435
Ahorro respecto a convencional	---	90
Total de arreglos 2 x 75 w	6,80E+06	
Ahorro al cambiar:		
100%		
0Wh		51
2 tarifas 2,3		0,02
2 total		0,12
25%		
0Wh		153
2 tarifas 2,3		0,02
2 total		0,12
50%		
0Wh		306
2 tarifas 2,3		4,12
2 total		0,72
75%		
0Wh		459
2 tarifas 2,3		6,12
2 total		0,92
100%		
0Wh		612
2 tarifas 2,3		8,22
2 total		0,92

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR  
2 X 110 WATTS

Lámpara	Convencional	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional
Balastro	Convencional	Convencional
Potencia total (W)	220	195
Consumo anual de Energía	720	645
Ahorro respecto a convencional	---	90
Total de arreglos 2 x 110 w	8,10E+06	
Ahorro al cambiar:		
100%		
0Wh		7
2 tarifas 2,3		0,12
2 total		0,02
25%		
0Wh		19
2 tarifas 2,3		0,22
2 total		0,02
50%		
0Wh		38
2 tarifas 2,3		0,42
2 total		0,02
75%		
0Wh		57
2 tarifas 2,3		0,62
2 total		0,02
100%		
0Wh		76
2 tarifas 2,3		0,82
2 total		0,12

1. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año
2. El número de lámparas se calcula por los datos de ventas.
3. El costo de energía se calcula con base en los precios vigentes.
4. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes
5. El consumo de tarifa 2 y 3 es 7474 kWh y total es 6444 kWh

AHORRO DE ENERGÍA EN LAMPARAS FLUORESCENTES AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE  
DE ELEMENTOS DE ALREOLAS (LAMPARA BARRITO-LUMINARIO DE  
2 X 40 WATT)

Lámpara	Convencional	Convencional	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Convencional	Eficiente	Eficiente	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Alreolas	Alreolas	Alreolas	Alreolas
Balastro	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente	Electrónico	Electrónico	Eficiente	Eficiente	Electrónico
Potencia total (20)	96	85	60	69	64	76	76	56	54
Consumo anual de Energía	289	255	140	207	192	216	117	171	186
Ahorro respecto a convencional	---	33	48	81	95	78	171	---	---
Total de consumo tarifa 2 y 3	1608000								
Ahorro al cambiar:									
10%	---	14	21	35	41	44	34	54	86
Millones de kWh		0,6	0,3	1,6	1,3	1,5	1,5	1,2	3,6
25%	---	36	52	87	101	104	84	135	201
Millones de kWh		1,6	2,3	2,3	4,6	3,8	4,3	4,3	4,0
50%	---	71	104	175	207	207	100	204	402
Millones de kWh		2,2	4,6	2,8	4,3	4,3	2,5	10,5	18,0
75%	---	107	156	262	311	311	153	264	603
Millones de kWh		4,3	2,0	11,0	11,3	11,3	11,7	24,9	27,0
100%	---	143	207	353	415	415	177	378	804
Millones de kWh		1,4	3,3	11,7	14,0	14,0	15,1	23,1	38,0

1. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año

2. El número de lámparas se calcula por los datos de ventas.

3. El número de lámparas se calcula por los datos de ventas de los fabricantes

4. Los datos de costo y de costo fueron obtenidos de Catálogos de los fabricantes

5. En el caso de los alreolas los datos fueron de aproximadamente 12 elementos

6. Para el luminario de alreolas se supone una lámpara de 40 W por 20 para tener la iluminación de 2x40 W

7. Para el luminario de alreolas se supone que una lámpara de 1 x 40 W sustituye una de 2 x 40 W

8. La potencia descrita es para lámpara y balastro

9. La potencia descrita es para lámpara y balastro es 110103 kWh

10. El costo de tarifa 2 y 3 es 2474 kWh y total es 110103 kWh

11. El precio por kWh utilizando carbón o combustibles es de 4,0 mil tomando 10% de pérdidas por la generación de base

AHORRO DE ENERGÍA EN LAMPARAS FLUORESCENTES AL SUSTITUIR UN PORCENTAJE  
DE ELEMENTOS O ARREGLOS LAMPARA-BALASTRO-LUMINARIO DE  
2 X 39 WATTS

Lámpara	Convencional	Convencional	Eficiente	Eficiente	Eficiente	Convencional	Eficiente	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Aluminio	Espejo	Espejo
Balastro	Convencional	Eficiente	Convencional	Eficiente	Electrónico	Eficiente	Eficiente	Electrónico
Potencia total (2)	94	83	80	69	62	70	37	32
Consumo anual de Energía	282	243	240	207	186	210	111	96
Ahorro respecto a convencional	---	33	42	75	96	72	171	186
Total de usuarios tarifa 2 y 3	1600000							
Ahorro al cambiar:								
10%								
0Hh		22	29	51	85	49	116	126
Millones de dls		1,0	1,3	2,3	2,9	2,2	5,2	5,7
25%								
0Hh		56	71	128	163	122	291	316
Millones de dls		2,5	3,2	5,7	7,3	5,5	13,0	14,2
50%								
0Hh		112	143	255	326	245	581	632
Millones de dls		5,0	6,4	11,4	14,6	11,0	26,0	28,3
75%								
0Hh		168	214	383	490	367	872	949
Millones de dls		7,5	9,6	17,1	21,9	16,5	39,1	42,5
100%								
0Hh		224	286	510	653	490	1163	1265
Millones de dls		10,1	12,8	22,8	29,2	21,9	52,1	56,7

1. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año
2. El número de lámparas se calcula por los datos de ventas.
3. El costo de la energía se supone de \$ 0,015 por kWh.
4. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes
5. En el caso de los luminarios los datos técnicos provienen de la referencia
6. Para el luminario de aluminio se supone una lámpara de 40 y una de 20 para tener la iluminación de 2x40.
7. Para el luminario de espejo se supone que una lámpara de 1 x 40 sustituye una de 2 x 40
8. La potencia descrita es para lámpara y balastro
9. El consumo de tarifa 2 y 3 es 7474 8Hh y total es 110103 8Hh
10. El precio por kWh utilizando carbon o combustóleo es de 4 c dll tomando 12% de pérdidas para generación de base.

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UNA LAMPARA DE  
2 X 75 WATTS

Lámpara	Convencional	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional
Balastro	Convencional	Convencional
Potencia total (2)	175	115
Consumo anual de Energía	525	405
Ahorro respecto a convencional	---	90
Total de usuarios tarifa 2 y 3	1600000	
Ahorro al cambiar:		
10%		
GWh		41
Millones de dls		2,7
25%		
GWh		153
Millones de dls		5,9
50%		
GWh		306
Millones de dls		13,7
75%		
GWh		459
Millones de dls		20,6
100%		
GWh		512
Millones de dls		27,4

AHORRO DE ENERGIA AL SUSTITUIR UNA LAMPARA DE  
2 X 110 WATTS

Lámpara	Convencional	Eficiente
Luminario	Convencional	Convencional
Balastro	Convencional	Convencional
Potencia total (2)	245	215
Consumo anual de Energía	735	645
Ahorro respecto a convencional	---	90
Total de usuarios tarifa 2 y 3	1600000	
Ahorro al cambiar:		
10%		
GWh		7,2
Millones de dls		0,3
25%		
GWh		18,0
Millones de dls		0,8
50%		
GWh		36
Millones de dls		1,6
75%		
GWh		54
Millones de dls		2,4
100%		
GWh		72
Millones de dls		3,2

1. Se supone 10 horas de uso diario de las lámparas durante 300 días al año
2. El número de lámparas se calcula por los datos de ventas.
3. Los datos técnicos y de costo fueron obtenidos de catálogos de los fabricantes
4. El consumo de tarifa 2 y 3 es 7474 GWh y total en 110103 GWh
5. El precio del Kwh generado por una de carbon o una de combustóleo es de 4 c/dl tomando 12% de pérdidas para generación de base.
6. El precio del Kwh generado por una de carbon o una de combustóleo es de 4 c/dl tomando 12% de pérdidas para generación de base.

futuro. Curiosamente el resultado del valor del kWh de generación es el mismo para los dos combustibles.

A continuación se presentan diversos escenarios de los resultados obtenidos.

a) Si el 10% del total de arreglos de 2 x 40, 2 x 39, cambiaran sus balastos por balastos eficientes y en 2 x 75 y 2 x 110 se cambiaran el 10% de las lámparas por eficientes, esto generaría un ahorro de 104 GWh, 1.4% del sector.

b) Si el 10% del total de arreglos de 2 x 40 y 2 x 39 cambiaran la lámpara y el balastro por eficientes, y en los demás arreglos se cambia el 10% de las lámparas, entonces el ahorro sería de 154 GWh, 2.1% de la generación dedicada al sector y 9.3 millones de dólares.

c) Si en el 10% del total de arreglos de 2 x 40 y 2 x 39 se cambian los balastos y las lámparas por eficientes, en otro 10% se cambian los balastos y las lámparas por eficientes y el luminario convencional por uno de aluminio y finalmente en un 10% más se cambia por lámpara eficiente, balastro eficiente y luminario de espejo, y en los de 2 x 75 y 2 x 110 se cambia el 25% por lámparas eficientes, entonces el ahorro sería de 359 GWh, 5% del consumo del sector y 21.5 millones de dólares.

c) Si el 25% de los arreglos de 40 y 39 watts se cambiaran por lo más eficiente, es decir, por lámpara eficiente, balastro electrónico y luminario de espejo, y en 75 y 110 se hiciera el cambio en las lámparas también para el 25% de los

arreglos, entonces el ahorro sería de 688 GWh, 7.9% del sector y 0.6% del consumo nacional.

El máximo potencial de ahorro suponiendo que se sustituye lo que en la actualidad se utiliza, por la opción más eficiente en los cuatro tipo de focos es de 2753 GWh, lo cual significa el 40% del consumo del sector, 2.5.% del consumo de energía nacional y 164 millones de dólares.

Las tablas 3.21 a 3.27, muestran los resultados sobre los cuales se puede definir gran cantidad de escenarios y su ahorro en terminos del sector, del total y el dinero que eso significa.

Como puede observarse el potencial de ahorro en relación al consumo nacional total es mayor en el sector residencial que en el comercial, esto era de esperarse, tomando en cuenta que el consumo domestico implica el 20% del consumo nacional y el comercial tan sólo el 7%.

### III. 3 ANALISIS DE SENSIBILIDAD

#### III.3.1. RESIDENCIAL

Este analisis muestra la variacion del resultado al cambiar el valor de algunas funciones caracteristicas de un sistema o proyecto. En este caso se hace para las variables: tasa de descuento, número de horas diarias que se mantiene encendida la lámpara y vida de la misma.

Se encontró que la variable más sensible para el cálculo de la rentabilidad de la inversión en la tecnología eficiente es la tasa de descuento y en el caso del cálculo del consumo de energía según ventas, la vida de la lámpara.

##### Consumo por ventas.

Como se muestra en los cuadros 3.8 y 3.9 (página 78), al variar el número de horas de vida de una lámpara incandescente convencional, disminuye el consumo anual en un % . Sin embargo, si el mismo porcentaje de vida se reduce en las lámparas eficientes, el resultado final al calcular el ahorro de energía es semejante al utilizado con la vida nominal, debido a que en los dos casos se disminuye el consumo de energía en la misma proporción.

##### Tasa de descuento

Al variar de 10% a 15% la tasa de descuento, la rentabilidad de las compactas fluorescentes cambia de un precio de la energía de 80 \$/kWh a 93\$/kWh y el periodo de retorno para esta misma tarifa pasa de ser de nueve meses a un año.

Al variar la tasa de descuento de 10 a 6% la rentabilidad del cambio tecnológico sigue existiendo para los mismos consumidores, es decir la sustitución tecnológica es viable para los usuarios de los mismos bloques

Supongase ahora que un usuario requiere conocer el tiempo de recuperación de su inversión tomando en cuenta tan sólo el interés bancario y no la inflación. Es decir quiere saber en cuanto tiempo recuperará la inversión original, más los intereses que ésta hubiese generado en el banco.

Esto corresponde a una tasa de descuento actual (1990) de alrededor del 30%

En este caso, para la inversión de una compacta fluorescente de 9 watts en comparación con un foco convencional de 40, el tiempo de recuperación de la inversión sería de seis meses para los usuarios del último bloque de precio y de año y medio para el bloque anterior.

Bajo esta misma suposición, el tiempo de recuperación de la inversión en compactas fluorescentes sería de 4 meses en la sustitución de incandescentes de 60 watts y para el bloque máximo. Para el bloque inmediato anterior, el tiempo de recuperación de la inversión es de un año.

Para el caso de los 75 y 100 watts, para el máximo costo doméstico de luz el tiempo de recuperación es de seis meses y para el inmediato anterior de un año seis meses.

**Horas de uso**

Al aumentar a 5 el uso diario de la lámpara incandescente , la sustitucion se hace viable para la segunda tarifa en todas las opciones, en vez de la tercera como sucedía para 4 horas.. Y la disminucion a 3 horas diarias en vez de cuatro de uso, no significa cambios en los bloques de precio de la energía para los cuales existe rentabilidad de la inversión.

Para el caso del ahorro, tomando como referencia el ahorro total del analisis que se establece por estratos para las lámparas de 60 y 100 watts, la disminucion a tres horas de uso, disminuye el ahorro de % del sector domestico a %. En cambio al aumentar el uso a 5 horas genera un ahorro tambien mayor, con un valor total de

**III.3.2. COMERCIAL**

Al aumentar las horas diarias de uso de 10 a 12, la rentabilidad del usuario sigue siendo factible para todas los precios de la electricidad y el ahorro aumenta, en el caso de la opcion mas eficiente para cada lampara, de 40% a 27% del consumo del sector.

Al disminuir el uso a 8 horas diarias, el ahorro maximo total disminuye a 10%. Y sigue habiendo rentabilidad desde la tarifa mencionada.

Al aumentar a 15% la tasa de descuento, el balastro electromagnetico ya no es rentable sino hasta el precio de 340 pesos por kwh.

Para el caso de una tasa de descuento del 12%, tampoco es rentable el balastro electronico para 200. Su factibilidad comienza a la tarifa de 285 pesos por kwh.

#### IV. CONCLUSIONES

1. La iluminación representa entre el 20 y el 23% del consumo nacional de electricidad. Este resultado fue obtenido por dos vías: la venta de focos en el mercado nacional y una estimación de la importancia relativa de la iluminación en el consumo eléctrico de cada sector.

2. Las lámparas o focos incandescentes convencionales, cuya utilización es básicamente doméstica, pueden ser sustituidos por dos tipos de focos ahorradores de energía. Los incandescentes eficientes que en vez de estar rellenos de gas neon, utilizan gas kriptón, lo cual hace que aumente su eficiencia y su vida; y por compactos fluorescentes que tienen una eficiencia casi 75% mayor a las incandescentes convencionales.

3. Los arreglos lámpara-balastro-luminario que se utilizan comúnmente en el sector comercial, incluyendo servicios, pueden ser sustituidos, con el objetivo de ahorrar energía, por combinaciones de lámparas, balastros y luminarios convencionales, lámparas y balastros eficientes, balastros electromagnéticos y luminarios de aluminio y de espejo. En este trabajo se analizan ocho combinaciones, además de la convencional, siendo la más eficiente la constituida por lámpara convencional, balastro electrónico y luminario de espejo.

4. Desde el punto de vista del consumidor residencial de la electricidad, a una tasa de descuento del 10% y 4 horas de uso diario, las lámparas incandescentes eficientes, tomando en cuenta el ahorro de energía y el valor del dinero en el tiempo, son más baratas que las convencionales para todos los precios de la electricidad y para todas las potencias de focos.

En comparación, la sustitución de compactas fluorescentes por convencionales de 40,75 y 100 watts sólo es rentable a partir de los usuarios que consumen más de 50 kWh al mes y por lo tanto pagan \$80/kWh o más por su consumo máximo. Para el caso de la sustitución de las incandescentes de 60 watts, por compactas fluorescentes la rentabilidad comienza para los usuarios que consumen más de 25 kWh al mes.

5. Desde el punto de vista del consumidor comercial, cualquier sustitución de focos, balastros o luminarios convencionales por eficientes es rentable para una tasa de descuento del 10% y 10 horas de uso diario durante 300 días al año.

6. En el cálculo del potencial de ahorro de energía que el cambio de tecnología de la iluminación brinda para el sector doméstico se plantean varios escenarios. Utilizando los

datos obtenidos en el cálculo del ahorro tomando como base la cantidad de usuarios de la electricidad en las tarifas 1, 1a, 1b, y 1c. de Comisión Federal de Electricidad, se realizan las siguientes estimaciones.

a) Supóngase:

\* 25% de los usuarios cambian una lámpara convencional de 40W por una incandescente eficiente de 34.

\* 25% una convencional de 60W por una eficiente incandescente de 52.

\* 10% una convencional de 100W por una eficiente de 90 y

\* 10% por una fluorescente de 18W.

Esto implicaría un ahorro de 257 GWh al año, 1.3% del consumo doméstico nacional.

b) Supóngase:

\* 25% de los usuarios cambian una lámpara convencional de 40W por una incandescente eficiente de 34.

\* 10% una convencional de 60W por una eficiente de 52 y el 10% por una fluorescente compacta de 13.

\* 10% de los usuarios cambian una incandescente de 100W por una eficiente de 90 y 25%, una de 100 W por una compacta fluorescente de 18W.

Esto generaría un ahorro de 560 GWh, 3.1% del sector doméstico, en otras palabras 1.4 veces la generación actual de la nucleeléctrica de Laguna Verde.

c) Supóngase:

\* 10% de los usuarios sustituyen una incandescente de 40W por una de 34 y otro 10% por una fluorescente de 9.

\* 10% de usuarios cambian incandescente de 60W por eficiente de 52 y 10% por compacta fluorescente de 13.

\* 10% cambia a fluorescente de 18 en vez de inandescente de 75 W y

\* 10% sustituye un incandescente de 100 por uno de 90 y el 25% instala fluorescente de 18 w en vez de incandente de 100.

Esto generaría un ahorro de 723 GWh, 3.9% del consumo domestico nacional, o 3.5 plantas generadoras de 350MW funcionando con un factor de planta del 60%.

7. Una mejor estimación del ahorro de electricidad en iluminación en el sector domestico puede calcularse evaluándolo por bloque de precio de la energía, debido a que se conoce la cantidad de usuarios en cada bloque y la rentabilidad del cambio tecnologico.

Para el escenario planteado en la tabla 3.20, se obtiene un ahorro de 2526 GWh, es decir, 13.4% del consumo doméstico nacional, lo cual implicaría (en términos de centrales de generación de turbina de gas) 267 millones de dólares o una planta de 500 MW funcionando a 60% de factor de carga.

8. Para el caso de los arreglos lampara-balastro-luminario del sector comercial se obtienen los siguientes resultados en la estimación de escenarios de ahorro de energía.

a) Si el 10% del total de arreglos de 2 x 40, 2 x 39, cambiaran sus balastos por balastos eficientes y en 2 x 75 y 2 x 110 se cambiaran el 10% de las lámparas por eficientes, esto generaría un ahorro de 104 GWh, 1.4% del sector.

b) Si el 10% del total de arreglos de 2 x 40 y 2 x 39 cambiaran la lampara y el balastro por eficientes, y en los demas arreglos se cambia el 10% de las lamparas, entonces el ahorro sería de 154 GWh, 2.1% de la generación dedicada al sector y 9.3 millones de dólares.

c) Si en el 10% del total de arreglos de 2 x 40 y 2 x 39 se cambian los balastos y las lámparas por eficientes, en otro 10% se cambian los balastos y las lamparas por eficientes y el luminario convencional por uno de aluminio y finalmente en un 10% más se cambia por lampara eficiente, balastro eficiente y luminario de espejo, y en los de 2 x 75 y 2 x 110 se cambia el 25% por lamparas eficientes, entonces el ahorro sería de 359 GWh, 5% del consumo del sector y 21.5 millones de dólares.

d) Si el 25% de los arreglos de 40 y 39 watts se cambiaran por lo más eficiente, es decir, por lámpara eficiente, balastro electrónico y luminario de espejo, y en 75 y 110 se hiciera el cambio en las lámparas también para el 25% de los arreglos, entonces el ahorro sería de 688 GWh, 7.9% del sector y 0.6% del consumo nacional.

e) El máximo potencial de ahorro suponiendo que se sustituya lo que en la actualidad se utiliza, por la opción más eficiente en los cuatro tipo de focos es de 2753 GWh, lo cual significa el 40% del consumo del sector, 2.5% del consumo de energía nacional y 164 millones de dólares.

9. El potencial de ahorro en relación al consumo nacional total es mayor en el sector residencial que en el comercial, esto era de esperarse, tomando en cuenta que el consumo domestico implica el 20% del consumo nacional y el comercial tan sólo el 7%.

10. Es evidente que el ahorro de energía que el cambio de tecnología de iluminación genera es suficientemente grande como para disminuir la construcción de centrales generadoras en el futuro. Lo que Comisión Federal de Electricidad invertiría en un programa de ahorro de este tipo, sería mucho menor al de la inversión en la construcción de nuevas plantas generadoras y el resultado final sería probablemente mejor.

**APENDICE 1**  
**LAMPARAS BALASTROS Y LUMINARIOS**  
**EN EL MERCADO NACIONAL**

# 1. Incandescentes

Lámpara	Potencia watts	Iluminación lc	Eficiencia l/w	Color	Vida hrs	Costo \$
Incandescente convencional	25	230	10.0	claro	1000	900
	25	250	10.0	perla	1000	900
	25	230	9.2	blanco	1000	900
	40	450	12.3	claro	1000	900
	40	490	12.3	perla	1000	900
	40	450	12.3	blanco	1000	900
	60	820	13.7	claro	1000	900
	60	820	13.7	perla	1000	900
	60	750	12.5	blanco	1000	900
	75	1070	14.3	claro	1000	900
	75	1070	14.3	perla	1000	900
	75	1055	14.1	blanco	1000	900
	100	1560	15.6	claro	1000	900
	100	1560	15.6	perla	1000	900
	100	1450	14.5	blanco	1000	900
Softone (Philips)	25	230	9.2	softone	1000	1500
	40	440	11.0	softone	1000	1500
	60	740	12.3	softone	1000	1500
	75	940	12.5	softone	1000	1500
	100	1300	13.0	softone	1000	1500
Bellalux (Geras)	60	700	11.7	blanco	1000	1200
	75	920	12.3	blanco	1000	1200
	100	1300	13.0	blanco	1000	1200
Incandescentes eficientes Solar plus	34	420	12.4	Plus if	2500	1640
	52	775	14.9	Plus if	2500	1240
	90	1490	16.6	Plus if	2500	1240

Costos al menudeo

2. Datos técnicos de catálogos de fabricantes

3. Precios de 1990

## 2. Compactas Fluorescentes

Lámpara	Potencia watts	Iluminación lm	Eficiencia lm/w	Color	Vida hrs	Costo \$
<b>Compactas fluorescentes</b>						
PL	7	400	57.1 confort lujo		10000	12000
sin balastro	7	600	85.7 confort lujo		10000	12200
	13	900	69.2 confort lujo		10000	12300
	18	1200	66.4 confort lujo		10000	†
	24	1600	75.0 confort lujo		10000	†
	36	2500	69.4 confort lujo		10000	†
PL con adaptador	11	600	54.5 confort lujo		10000	27000
PLC	10	600	60.0 confort lujo		10000	27000
sin balastro	13	900	69.2 confort lujo		10000	†
	18	1200	66.4 confort lujo		10000	†
	26	1600	61.5 confort lujo		10000	†
	13	600	65.2 confort lujo		10000	†
PL	10	1100	61.1 confort lujo		10000	53200
adaptada a socket	13	950	52.9 confort lujo		7500	34940
	10	600	44.4 confort lujo		10000	†
<b>Osram</b>						
Dulux S						
sin balastro	5	250	50.0	2700K	10000	12363
	7	400	57.1	2700K	10000	12363
	9	600	66.7	2700K	10000	12500
	13	900	69.2	2700K	10000	†
Scile Dulux						
sin balastro	9	575	63.9	2700K	10000	27000
	13	860	65.2	2700K	10000	†
Dulux E1						
con adaptador a socket	7	400	57.1	2700K	10000	72000
	11	600	54.5	2700K	10000	†
	15	900	60.0	2700K	10000	†
	20	1200	60.0	2700K	10000	†
<b>ACCESORIOS para compactas</b>						
Adaptador a socket					14000	13700
para lámparas de 5,7,9	2				14000	13700
	2				14000	13700

### 3. Fluorescentes

Lámpara	Potencia watts	Iluminación lm	Eficiencia lm/w	Longitud en "	Color	Vida hrs	Costo ¢	
-----								
Fluorescente convencional								
Arranque rápido o normal								
T12	20	1200	60.0	605	Blanco frío	9000	5050	
	20	1075	53.8	605	Luz de día	9000	5050	
	40	2400	72.5	1220	Blanco frío	12000	5500	
	40	2550	63.8	1220	Luz de día	12000	5500	
Arranque instantáneo								
Utielinc	T12	39	3060	76.9	1220	Blanco frío	9000	6400
		39	2550	64.1	1220	Luz de día	12000	6400
		39	2750	70.5	1200	Blanco	12000	6910
		55	4500	81.6	1830	Blanco frío	9000	8990
		55	3000	69.1	1830	Luz de día	12000	8990
		55	4200	76.4	1830	Blanco	12000	
		75	6300	84.0	2440	Blanco frío	9000	8900
		75	5450	72.7	2440	Luz de día	12000	8900
		75	5900	78.7	2440	Blanco	12000	9300
Alta luminosidad								
T12	60	4300	71.7	1220	Blanco frío	12000	11400	
	87	6650	76.4	1830	Blanco frío	12000	12500	
	87	5115	56.0	1830	Luz de día	12000	12500	
	110	9200	83.6	2440	Blanco frío	12000	13000	
	110	7900	70.9	2440	Luz de día	12000	13000	
Muy alta luminosidad								
T12	110	6750	63.2	1220	Blanco frío	10000	186000	
	160	10700	66.1	1830	Blanco frío	10000	186000	
	215	14500	67.4	2440	Blanco frío	10000	178900	

Nota 1. Los costos son al menudeo

Nota 2. Los datos técnicos fueron obtenidos de los catálogos

Nota 3. Tan solo se analizan las T12 pues son las factibles de sustitución debido a que en México no se comercializan TB eficientes.

## 4. Fluorescente eficiente

Lámpara	Potencia watts	Iluminación lo t	Longitud ca t	Color	Vida hrs	Costo s	
<b>Fluorescente eficiente</b>							
<b>Philips</b>							
Econ-o-watt	T12	30	2330	1220	Super luz día	9000	7240
		30	2675	1220	Blanco ligero	9000	7240
		34	2350	1220	Luz de día	12000	6340
		34	2925	1220	Blanco ligero	12000	6340
		49	5220	2440	super luz día	12000	9600
		50	5000	2440	Blanco ligero	12000	9600
<b>General Electric</b>							
Watt-Saver	T12	34	2850	†			
		32	2725	†			
		40	3650	†			
		60		†			
<b>Solar</b>							
Super saver	T12	32	2700	1168	Blanco ligero	9000	5936
		34	2750	1220	Blanco ligero	12000	5248
		60	5850	2328	Blanco ligero	12000	7872
		95	8675	2385	Blanco ligero	12000	10686
		195	14900	2385	Blanco ligero	10000	15965

† No se encontraron los datos.

Nota 1. Los costos son al menudeo

Nota 2. Los datos técnicos fueron obtenidos de los catálogos

## 5. Luminarios.

LUMINARIOS **	Manometría lúmenes	Luz útil lúmenes	Luz útil %	Eficiencia %	Eficacia lm/w
Medido para 2740 watts					
Convencional	5400	1150	100%	21	11.7
Reflector de aluminio	5400	1710	151%	32	17.8
Reflector de espejo	5400	2180	195%	40	22.7
Para 2 x 32					
Reflector de espejo	5000	2100	198%	42	27.3
Para 2 x 32 Ballastro electrónico					
Reflector de espejo	5000	2100	188%	42	35.0

\*\* Está definido para un cono de 60 grados

\*\* FUENTE: Geller, Infocoe (1990) (Datos de Moreira, Brasil).

**APENDICE 2**  
**DATOS DE VENTAS DE FOCOS**  
**Y ALGUNOS CALCULOS**  
Datos proporcionados por OGIAM

MERCADO NACIONAL DE FGDOS

INCANDESCENTES †

Potencia watts	1985	1986	1987	1988	1989	
						Procedio
de 100 a 150	140	110.5	147	121.5	138	133
a 150	2.9	2.3	2.2	1.7	2.0	2.22

† Millones

FLUORESCENTES †

Potencia watts	1985	1986	1987	1988	1989	
						Procedio
Arranque Rápido 20, 40	3.0	3.1	3.2	3.5	3.7	3.62
Slimline 39, 55, 75	5.7	9.1	11.3	9.7	11.6	10.28
otras	1.7	1.4	1.4	1.3	1.3	1.34
Total	10.4	13.6	16.5	14.5	16.6	15.24

† Millones

RESERVA DE ALTA INTENSIDAD †

Potencia Mixta	1935	1936	1937	1938	1939	Promedio
Sodio de alta presión						
de 70 a 100	304	267	270	217	250	242.5
Mercurio						
de 100 a 400	357	230	230	217	233	251.4
Mixta						
de 160 a 400	252	199	240	242	311	243.6
Haluros Metálicos	40	30	43	39	45	35.8

† Miles

CALCULO DEL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA

INCANDESCENTE

1. POR LAMPARA

POTENCIA watts	HORAS DE USO DIARIO	CONSUMO ANUAL kwh/año
60	4	87.6
	3	65.7
75	4	109.5
	3	82.1
100	4	146.0
	3	109.5
500	4	730.0
	3	547.5

† Se toma un promedio para las incandescentes de 150 a 1500 watts

2. TOTALES POR POTENCIA

POTENCIA watts	VIDA horas	VENTAS precio millón	CONSUMO ANUAL TWh/año	COSTO KWH US\$/kwh	COSTO ANUAL dis/año
25	1000	4.65	0.1663	0.106	17422.5
40	1000	13.3	0.5320	0.106	56392
60	1000	39.9	1.3710	0.106	145376
75	1000	19.93	1.4965	0.106	158602.5
100	1000	57.2	3.3200	0.106	352720
500	1000	2.22	1.1100	0.106	117660
total (hasta 100 watts)			11.0185 TWh/año		1050301 dis/año
total (de 100 a 1500 watts)			1.1100 TWh/año		102120 dis/año
total			11.0185 TWh/año		1167961 dis/año

FLUORESCENTE

1. POR LAMPARA

POTENCIA	HORAS DE	CONSUMO
watts	USO DIARIO	ANUAL
		kwh/año
20,40	10	109.5
39,55,75	10	169
otras	10	--

2. TOTALES POR POTENCIA

POTENCIA	VIDA	VENTAS	CONSUMO
watts	horas	procedio	ANUAL
		millón	Twh/año
20,40	12000	3.62	1.3032
39,55,75	12000	10.20	6.9493
otras	12000	1.34	0.4824
total			8.7349 Twh/año

DESCARGA DE ALTA INTENSIDAD

1. POR LAMPARA

POTENCIA	HORAS DE	CONSUMO
watts	USO DIARIO	ANUAL
		kwh/año

SODIO DE ALTA PRESION

70,100,150	10	389.09
250	10	912.5
400	10	1460

MERCURIO

100,125,17	10	485.45
250	10	912.5
400	10	1460

MIXTA

160	10	584
250	10	912.5
400	10	1460

2. TOTALES POR POTENCIA

POTENCIA	VIDA	VENTAS	CONSUMO
watts	horas	procedie sites	ANUAL Twh/año
<b>SODIO DE ALTA PRESION</b>			
70,100,150	24000	72.54	0.2042
250	24000	121.4	0.2657
400	24000	48.56	0.1702
		total	0.6402 Twh/año
<b>MERCURIO</b>			
160,125,17	24000	50.48	0.0588
250	24000	126.2	0.2764
400	24000	75.72	0.2653
		total	0.6005 Twh/año
<b>MIXTA</b>			
150	9000	55.93	0.0294
250	9000	124.4	0.1022
400	9000	55.68	0.0736
		total	0.2051 Twh/año
<b>HALURO</b>			
500 estacion	10000	39.8	0.0726 Twh/año

CONSUMO ANUAL TOTAL

	Tub/año	%
INCANDESCENTES	10.137	49.71%
FLUORESCENTES	8.7349	42.04%
MED	1.5124	7.45%
TOTAL	20.3908 Tub/año	100.00%

**APENDICE 3**  
**FACTOR DE POTENCIA**

### APENDICE 3. FACTOR DE POTENCIA

#### i. Potencia real y reactiva.

En un circuito de corriente alterna monofásico, en el que el voltaje y la corriente están dados por:

$$v = V_m \sin \omega t$$

$$i = I_m \sin (\omega t + \phi)$$

La potencia real instantánea es igual a:

$$p = v i = (V_m \sin \omega t) [I_m \sin (\omega t + \phi)]$$

Desarrollando  $\sin (\omega t + \phi)$  y sustituyendo en la expresión anterior:

$$p = V_m I_m \sin \omega t (\sin \omega t \cos \phi + \cos \omega t \sin \phi)$$

$$p = V_m I_m (\sin^2 \omega t \cos \phi + \sin \omega t \cos \omega t \sin \phi)$$

Pero

$$\sin \omega t \cos \omega t = \frac{1}{2} \sin 2\omega t$$

$$\sin^2 \omega t = \frac{1 - \cos 2\omega t}{2}$$

Por lo tanto

$$p = \frac{V_m I_m}{2} \cos \phi (1 - \cos 2\omega t) + \frac{V_m I_m}{2} \sin \phi \sin 2\omega t$$

El primer término de la ecuación anterior

$$\frac{V_m I_m}{2} \cos \phi (1 - \cos 2\omega t)$$

representa una potencia instantánea que varía entre un mínimo igual a cero y un máximo igual a  $\frac{V_m I_m \cos \phi}{2}$ . Su valor medio durante un número entero de periodos es:

$$\left( \frac{V_m I_m}{2} \right) \cos \phi$$

y se llama potencia real o activa, que se representa por la letra P.

Teniendo en cuenta que:

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

donde V e I son, respectivamente los valores eficaces del voltaje y de la corriente, la potencia real puede expresarse de la siguiente manera:

$$P = VI \cos \phi$$

El segundo término de la ecuación de la potencia

$$\frac{V_m I_m}{2} \sin \phi \sin 2\omega t$$

representa una potencia instantánea. Su valor máximo es:

$$\frac{V_m I_m}{2} \sin \phi$$

se llama potencia reactiva, que se representa por la letra  $Q$  y puede expresarse en función de los valores eficaces del voltaje y de la corriente de la siguiente manera:

$$Q = VI \sin \phi$$

La potencia reactiva, considerada durante un periodo de tiempo, representa la oscilación de energía producida por la presencia de inductancias y capacitancias en el sistema que almacenan energía en el campo magnético eléctrico respectivamente.

Para los sistemas trifásicos se desarrolla un análisis similar.

El factor de potencia puede ser expresado entonces por la relación entre la potencia real y la aparente, es decir:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{VI \cos \theta}{VI} = \cos \theta$$

## 2. Factor de Potencia en los balastos.

El factor de potencia de un balastro es de suma importancia. Si su factor de potencia es chico, implicará que se requiere de una mayor intensidad de corriente, lo cual tiene diversas implicaciones para la Compañía generadora y distribuidora de la electricidad.

Por esta razón, en la sustitución de lámparas incandescentes que no generan potencia reactiva por compactas fluorescentes que sí lo hacen por la presencia del balastro, debe tenerse sumo cuidado con el factor de potencia.

Los productores de focos aseguran que el factor de potencia de dichas lámparas es mayor a 0.9, lo cual es alto y permitiría dar la sustitución. Sin embargo, antes de realizar sustituciones a gran escala es imprescindible estar seguros de que estos datos son reales.

**APENDICE 4**  
**PRECIOS DE LA ELECTRICIDAD**  
**TARIFAS 1, 2 Y 3**

PRECIO DE LA ENERGIA ELECTRICA

TARIFA 1

Consumo mensual (kWh)	Costo \$/kWh
1 a 25	43
26 a 50	61
51 a 75	80
76 a 100	93
101 a 200	103
202...	325

TARIFA 2

Cargo fijo +

Consumo mensual (kWh)	Costo \$/kWh
	220
	275
	308

TARIFA 3

Cargo fijo +

Cargo por energia (\$/kWh)	Cargo por potencia (\$/kW)
151.7	30467

## BIBLIOGRAFIA

1. Berman, Verdeber et al. Lighting system research, Lawrence Berkeley Laboratory, capítulo 13, American Institute of Physics, 1985.
2. Crestani Sergio Iluminacao 2, Perspectivas tecnológicas do reator fluorescente no Brasil. Electricidad Moderna, Septiembre 1989.
3. Dutt Gautam. Alternativas tecnológicas para la eficiencia energética en la iluminación. X Seminario nacional sobre el uso racional de la energía. México D.F. Nov.1989.
4. Gadgil Ashok, De Martino Gilberto. Conservation Potential of Compact fluorescent lamps in India and Brazil. Lawrence Berkeley Laboratory 27210, julio 1989.
5. Geller S Howard. The Potential for Electricity Conservation in Brazil. Companhia Energética de Sao Paulo Feb. 1984.
6. Geller S Howard. Informe del programa de uso eficiente, Brasil 1990.
7. Geller S Howard. End-use electricity conservation options for developing countries. Octubre 1986, World Bank. Energy Departamente Paper No.32
8. Geller S, Goldemberg, Electricity conservation in Brazil. Potential and Progress. Energy. Vol 13 1988.
9. Goldemberg, Williams. The economics of energy conservation in developing countries: A case study for the electrical sector in Brazil. Chapter 3 American Institute of Physics 1985.
10. Goldemberg, Johanson, Reddy, Williams. Energy for a sustainable world. Wold Resources Institute. September 1987.
11. Goldemberg, Johanson, Reddy, Williams. Energy for development. Wold Resources Institute. September 1987.
12. General Electric. Lighting Application Bulletin, Office Lighting General Electric 1988 USA.
13. General Electric. Ballast Basic.1985.
14. General Electric. Lighting level guide. 1986.
15. General Electric. Choosing lighting fixtures for efficiency and visual comfort. Lamp bussines División Ge. USA 1988.

16. Hetch, Zajac. Optuca. Fomento Educativo Interamericano México 1977.
17. Iluminacao 6. Programa de Conservacao de energia do Banco Itaú. Electricidad Moderna 1989.  
Iluminacao 7. Mercedes Benz: Conservacao como política permanente . Electricidad moderna Brazil, Septiembre de 1989.
18. Iluminacao para fins comerciais. Simposium Brasileño en conservación de energia en iluminación. Agosto 1989.
19. Marcelo de Andrade Projecto selectivo. Una alternativa viable en iluminación. Brasil 1989.
20. Mondoca F. Técnicas para el uso racional de la energia a través de balastos. X Seminario nacional sobre el uso racional de la energia. México D.F. Nov.1989.
21. Osram. Luz para interiores y exteriores México 1990.
22. Philips iluminación. Catálogo Compacto de especificaciones. Philips 1989.
23. Philips iluminación. Guía de Bolsillo. Balastos para lámparas fluorescentes. México 1989.
24. Schneider Thomas R. Lighting the future EPRI Journal 1984.
25. Solar. Catálogo de Productos, 1989,
26. Sylvania. Guide to Sylvania energy saving lamps. Massachussets USA 1988.
27. Sylvania. Twin Tube fluorescent system Massachussets USA 1988.
28. Verdcher, Morse. Performance on electronic Ballast and other new lighting equipment. Prepared by Lawrence Berkeley Laboratory. University of California. EPRI.
29. Viqueira J. Características técnicas de los sistemas de energia eléctrica Tema 2.
30. Viqueira J. Tecnología y Economía de la energia eléctrica.
31. White, Agee, Case. Técnicas de análisis económico en Ingeniería LIMUSA. México 1977.
32. Westinghouse. Manual de luminotecnica. 1988.