

26
2ej.



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**"AHORRO DE ENERGIA EN
LAMPARAS DE USO DOMESTICO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

DANIEL MAGUEY SANCHEZ

ASESORES: ING. MANUEL MALACARA TORAL

ING. CASILDO RODRIGUEZ ARCINIEGA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1994.

**TESIS COM
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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

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

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

"Ahorro de energía en lámparas de uso doméstico".

que presenta el pasante: Daniel Maguey Sánchez
con número de cuenta: 8525316-6 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 22 de noviembre de 1993

PRESIDENTE	<u>Ing. Soledad Alvarado Martínez</u>
VOCAL	<u>Ing. Francisco Gutiérrez Santos</u>
SECRETARIO	<u>Ing. Casildo Rodríguez Arciniega</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Jaime Rodríguez Martínez</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Ma. del Pilar Zeneda Moreno</u>

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES ISABEL Y DANIEL POR LA AYUDA INCONDICIONAL QUE ME HAN PRESTADO A LO LARGO DE TODA MI VIDA.

A MIS HERMANOS CESAR, OSCAR, SERGIO, PATRICIA, MIGUEL ANGEL Y MARCO ANTONIO POR SU COMPRESION.

UN ESPECIAL AGRADECIMIENTO A MIS ASESORES MANUEL MALACARA Y CASILDO RODRIGUEZ.

A TODOS LOS PROFESORES QUE HE TENIDO A LO LARGO DE MI FORMACION PROFESIONAL, PORQUE DE TODOS HE APRENDIDO ALGO.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO Y A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN.

AL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS POR LAS FACILIDADES PRESTADAS PARA LA REALIZACION DE ESTA TESIS.

CONTENIDO

	pag.
Índice.	i
Prólogo.	iv
Introducción.	viii
CAPITULO 1	1
Lámparas.	2
1.1 Tipos de lámparas.	2
1.2 La evolución de las lámparas.	10
CAPITULO 2	20
Antecedentes.	21
2.1 Acciones realizadas en México para ahorrar energía en iluminación.	21
2.2 El proyecto Hermosillo.	22
2.3 El proyecto Puebla.	24
2.4 El proyecto Querétaro.	26
CAPITULO 3	30
Importancia del ahorro de energía en la iluminación doméstica.	31
3.1 El sector residencial en la planificación energética.	31

3.2 El sector eléctrico residencial.	33
3.2.1 Impactos indirectos al medio ambiente.	37
3.3 La iluminación en el sector residencial mexicano.	38
CAPITULO 4	44
Panorama nacional e internacional que guarda la fabricación de lámparas fluorescentes compactas de los principales fabricantes.	45
4.1 Lámparas de uso doméstico comercializadas en México.	45
4.1.1 Sustitución de lámparas incandescentes estándar con lámparas fluorescentes compactas.	48
4.2 Lámparas fabricadas en el extranjero que no se venden en México.	55
4.2.1 Lámparas fluorescentes compactas.	55
4.2.2 Lámparas incandescentes con gas inerte (gas criptón).	61
CAPITULO 5	63
Evaluación.	64
5.1 Lámparas fluorescentes compactas comercializadas en México.	64

5.2 Lámparas incandescentes con gas inerte	
(gas criptón).	68
5.3 Evaluación económica.	72
5.3.1 Primera evaluación económica.	75
5.3.2 Segunda evaluación económica.	77
Conclusiones.	81
ANEXO A	86
ANEXO B	95
ANEXO C	104
ANEXO D	115
GLOSARIO	119
BIBLIOGRAFIA	131

Prólogo.

En la actualidad, una de las grandes prioridades a nivel nacional e internacional, es el ahorro de energía eléctrica; existen tres razones fundamentales para ello:

1.- Reducción de las inversiones en el sector eléctrico. Para hacer frente a la demanda de energía eléctrica, se requiere hacer inversiones cuantiosas para la construcción de centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones y redes de distribución.

2.- La conservación de los recursos energéticos no renovables, como son el petróleo, el gas o el carbón. Aún cuando la energía eléctrica se regalara, sería necesario elaborar un programa de conservación, a fin de no agotar las actuales fuentes de energía con mayor velocidad que la que permite encontrar nuevos recursos energéticos o introducir nuevas técnicas de generación de energía eléctrica.

3.- La cuestión ecológica. En un mundo que encara problemas de contaminación, el uso racional de la energía eléctrica se ha convertido en una necesidad apremiante.

El sector eléctrico se propone resolver la problemática que plantea la generación de energía eléctrica y su impacto al medio ambiente a través del ahorro de energía. En las próximas décadas la eficiencia energética será de suma importancia para reducir

la contaminación.

En el campo de ahorro de energía eléctrica, la iluminación doméstica representa una de las áreas con mayores posibilidades de obtener considerables ahorros de energía, debido al uso en el sector doméstico de tecnologías de iluminación poco eficientes.

Dentro de la amplia gama de artículos eléctricos de mayor consumo de energía eléctrica en el hogar, las lámparas incandescentes ocupan un lugar primordial, además de tener una gran demanda en el mercado nacional.

La lámpara incandescente es de muy baja eficacia luminosa, ya que su operación esta basada en el calentamiento de un filamento hasta el rojo blanco con lo cual convierte aproximadamente el 90% de energía eléctrica en calor y sólo el 10% en luz.

Existen en la actualidad alternativas para sustituir a las lámparas incandescentes, como son las lámparas fluorescentes compactas, las cuales requieren para su funcionamiento una pequeña fracción del consumo normal de energía eléctrica que consume una lámpara incandescente.

En esta tesis se realiza un estudio acerca de que tan conveniente sería la sustitución de las lámparas incandescentes, que actualmente se utilizan en el sector residencial

mexicano, por lámparas fluorescentes compactas desde el punto de vista de ahorro de energía y de las barreras que podrían impedir su aceptación por parte del usuario, como pueden ser: su alto precio de adquisición, los niveles de flujo luminoso que proporcionan, su temperatura de color y rendimiento de color.

Como una segunda alternativa para sustituir a estas lámparas incandescentes, debido al alto precio de adquisición que presentan las lámparas fluorescentes compactas, se consideran a las lámparas incandescentes cuyo filamento opera en una atmósfera de gas inerte (gas criptón), que aunque en México todavía no se comercializan, en los Estados Unidos se venden con mucho éxito.

La sustitución comprende a las lámparas incandescentes de 25 a 100 watts por ser las más utilizadas en el sector doméstico.

Dentro del análisis de las lámparas incandescentes con gas inerte se muestran los ahorros de energía que se tendrían por reemplazar a las lámparas incandescentes que actualmente se utilizan en México, y se comparan con los que se lograrían con el uso de las lámparas fluorescentes compactas. Como se desconoce el precio con el que las lámparas con gas inerte entrarían al mercado nacional no fue posible realizar la evaluación económica de estas lámparas.

Esperamos que con este trabajo la población tome conciencia de la importancia de

ahorrar energía en la iluminación doméstica y que Comisión Federal de Electricidad considere la posibilidad de promover y acelerar dichas sustituciones; y contribuir de esta manera con los esfuerzos que se realizan en el país para obtener los beneficios que proporciona el ahorro de energía.

Introducción.

La presente tesis comprende el desarrollo de cinco capítulos que se desglosan de la siguiente manera:

El primer capítulo abarca los principales tipos de lámparas, se mencionan algunas de las características de cada lámpara, así como sus usos más comunes. Este capítulo tiene por objetivo ubicar a las lámparas incandescentes y fluorescentes compactas, dentro del contexto general, por ser las que se manejan en este estudio. El capítulo uno también incluye una reseña de la evolución de las lámparas incandescentes y se cita la aparición de otras tecnologías de iluminación.

El segundo capítulo trata de las acciones que se han realizado en México con el fin de ahorrar energía en la iluminación dentro del sector doméstico, las cuales comprenden un conjunto de proyectos piloto de sustitución de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas.

El tercer capítulo está dedicado a destacar la importancia de ahorrar energía en la iluminación doméstica. Dentro de los usos finales de la energía eléctrica destinada al sector residencial la iluminación es la que presenta la mayor demanda, además de contribuir de manera significativa a la demanda de energía eléctrica en horas pico, asimismo el sector residencial es el más subsidiado. Por otra parte, las lámparas

incandescentes que actualmente se utilizan en la iluminación doméstica son de muy baja eficacia luminosa por convertir aproximadamente el 90% de la energía eléctrica en calor y sólo el 10% en luz. Por estos motivos, y por todos los beneficios que produce el ahorro de energía, el uso de tecnologías de iluminación más eficientes dentro del sector residencial juega un papel trascendental, como se podrá apreciar en esta tesis.

En el capítulo cuatro vemos como está compuesto el mercado nacional de lámparas, donde la lámpara incandescente de 100 W es la que mas se vende. Se muestran algunas de las características de las Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) como son: su temperatura de color, rendimiento de color, flujo luminoso y eficacia. Posteriormente se establece una estimación de los ahorros de energía que se obtendrían por sustituir las lámparas incandescentes convencionales por lámparas fluorescentes compactas comercializadas en México y se comparan con los que se lograrían con el uso de LFC que se venden en otros países. Como una segunda alternativa, para ahorrar energía eléctrica, se considera la posibilidad de sustituir a las lámparas incandescentes convencionales por lámparas incandescentes con gas criptón.

El capítulo cinco comprende la evaluación de las características de las lámparas fluorescentes compactas comercializadas en México, presentadas en el capítulo cuatro. Aquí se lleva a cabo una comparación de los ahorros de energía que se

obtendrían con el uso de las LFC con los que proporcionaría el empleo de lámparas con gas inerte, también se comparan las eficacias que presentan unas y otras lámparas. Debido a que las lámparas fluorescentes compactas tienen un alto precio de adquisición se realizó la evaluación económica de estas lámparas con el fin de determinar que tan conveniente sería para el usuario realizar dicha sustitución.

Finalmente se presentan las conclusiones, donde se muestran los resultados obtenidos a través del estudio, y se dan algunas recomendaciones para hacer más factible el ahorro de energía dentro de la iluminación doméstica. Esta tesis se complementa con cuatro anexos y un glosario.

Capítulo 1 Lámparas.

1.1 Tipos de lámparas

1.2 La evolución de las lámparas.

Lámparas.

1.1 Tipos de lámparas

Entre las lámparas eléctricas, los tipos principales son los siguientes:

1) Lámparas incandescentes. En ellas la luz se obtiene calentando un filamento conductor hasta la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica a través de él. Las lámparas utilizadas actualmente tienen un filamento de tungsteno, pues el de carbón es excesivamente delicado y de corta duración. El filamento se encuentra en el vacío para evitar su rápida combustión, dada la alta temperatura que alcanza (aproximadamente 2300 °C) o bien la ampolla de vidrio se llena con un gas inerte que reduce la disgregación térmica del filamento, lo cual permite aumentar la temperatura de funcionamiento del filamento – se llega aproximadamente a los 2600 °C lo cual aumenta la eficacia de la lámpara –, cuanto más elevada sea la temperatura del filamento tanto mayor será la parte de energía radiada que corresponde a la región visible del espectro.

La alimentación de la lámpara para aplicaciones de alumbrado general se efectúa a través de su base, que puede ser del tipo Edison en sus cuatro tamaños (gigante, normal, mignon y micromignon), o bien, para instalaciones sometidas a vibraciones que podrían aflojar las roscas, del tipo bayoneta, insensibles a las vibraciones.

La ampolla de vidrio que contiene el filamento y eventualmente el gas inerte, es muy delgada y generalmente transparente. Sin embargo, para evitar el deslumbramiento, se suele emplear el esmerilado; el esmerilado exterior se logra fácilmente pero le da a las lámparas un aspecto rugoso, y, con el tiempo, al recoger el polvo disminuye su eficacia; el esmerilado interior es más complicado y costoso, pero no acumula el polvo. Algunas lámparas tienen una capa interior de sílice blanca que les proporciona una capacidad de difusión de luz aún mayor.

El uso de halógenos, en algunas lámparas incandescentes, ha permitido reducir el tamaño de los bulbos y emplear gases nobles de mayor peso, como xenón, criptón y argón, que a pesar de ser muy costosos, se emplean en pequeñas cantidades. La presión del gas también se ha podido aumentar considerablemente hasta más de 1.013×10^6 Pascales (Pa); cuanto mayor sea la presión del gas, tanto menor será la evaporación del filamento y tanto mayores serán la eficacia luminosa y la vida de la lámpara.

Una de las mayores ventajas de las lámparas halógenas es que mantiene su eficacia luminosa inicial durante toda su vida. El bulbo no se ennegrece y permanece limpio hasta quedar fuera de operación, debido al ciclo tungsteno-halógeno. Este ciclo se desarrolla de la manera siguiente: el tungsteno que se evapora del filamento se combina con el halógeno formándose un compuesto gaseoso de halógeno-tungsteno. Cuando este gas se aproxima al filamento incandescente se disocia debido a la alta

temperatura. El tungsteno al quedar libre se deposita en el lugar más frío del filamento y el halógeno queda de nuevo disponible para reiniciar otra vez el ciclo regenerativo.

La envoltura tubular de las lámparas halógenas se fabrican con cristal especial de cuarzo para permitir las altas temperaturas que el ciclo regenerativo del halógeno necesita. Las lámparas de tungsteno-halógeno duplican la duración de las incandescentes de igual potencia, con la misma eficacia luminosa, o se puede sacrificar su duración aumentando su eficacia luminosa.

Las lámparas de incandescencia son muy sensibles a las variaciones de la tensión de alimentación y aumentos de este del orden de un 5% pueden reducir su duración aproximadamente a la mitad, aunque crece su flujo luminoso.

Los usos más comunes de las lámparas incandescentes son los siguientes: restaurantes, hoteles, iluminación doméstica, como reflectores o en algunas iluminaciones donde se requiere un buen rendimiento de color como son joyerías, museos y otro tipo de exposiciones. Las lámparas tungsteno-halógeno son preferentemente usadas para alumbrado en teatros, estudios de cine, iluminación por proyección y faros de automóviles.

2) Lámparas de gases enrarecidos. Según la presión y los diversos aditivos esta

lámpara puede ser:

a) Lámpara de Glimm, en las cuales la presión es tan sólo de 101.32 Pa. Desde el punto de vista de su fabricación son muy semejantes a las lámparas de incandescencia, en el interior de la ampolla de vidrio, en lugar del filamento, hay dos electrodos rodeados de gas neón. Estas lámparas se llaman también de resplandor negativo, pues cuando se alimentan con corriente continua, sólo se ilumina el electrodo negativo (si se alimenta con corriente alterna se iluminan los dos electrodos), presenta un efecto estróscópico y tienen un consumo muy bajo.

b) Lámpara de neón. Estas lámparas de gas enrarecido se fabrican con tubos en forma alargada, con dos electrodos en sus extremos, entre los que se establece el arco eléctrico. Se utilizan enormemente con fines publicitarios para la construcción de anuncios luminosos, tienen elevada tensión de alimentación.

c) Lámparas de alta intensidad de descarga (H.I.D.), de vapor de sodio, de aditivos metálicos y de mercurio. Son semejantes a las anteriores; para poder reducir su tensión de encendido a valores más aceptables, por ejemplo 220 volts, es necesario efectuar un precalentamiento de los electrodos, operación que implica un retraso en su encendido de 2 a 4 minutos y las hace inadecuadas para lugares en las que sea necesaria una iluminación instantánea (viviendas).

La luz emitida por una lámpara de descarga eléctrica no se produce calentando un filamento, sino excitando un gas – vapor metálico o una mezcla de diferentes gases o vapores – . La aplicación de un potencial eléctrico ioniza el gas y permite que la corriente pase entre dos electrodos colocados en los extremos opuestos de la lámpara. Los electrones que forman la corriente se aceleran a enormes velocidades; al entrar en colisión con los átomos del gas o vapor, alteran momentáneamente la estructura atómica de estos. La energía desprendida por los átomos alterados al volver a su estado normal produce la luz. Todas las lámparas de descarga requieren equipo auxiliar para el correcto arranque y operación, tienen una resistencia de característica negativa (véase anexo B) y pueden provocar estroboscopia o distorsión del movimiento.

-Lámparas de vapor de sodio a alta presión. La alta presión del vapor de sodio -entre 13 y 26 kPa-, ensancha el espectro por lo que emite energía en buena parte del espectro visible y todos los colores son distinguidos. Su rendimiento de color es bastante bueno si lo comparamos con las de sodio a baja presión. El tubo de descarga es de óxido de aluminio que resiste la intensa actividad química del vapor de sodio a la temperatura de funcionamiento de 700 °C. El tubo de descarga se aloja en el interior de una ampolla protectora de vidrio duro, en la que se ha hecho el vacío. En este tipo de lámparas se utiliza también xenón a baja presión para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco eléctrico hacia la pared del tubo. Son utilizadas extensivamente dentro de la industria e instalaciones

comerciales, para iluminar calles de la ciudad y para uso decorativo.

-Lámparas de sodio a baja presión. Son de las que más alta eficacia tienen de todas las fuentes de luz. Aunque no son lámparas de alta intensidad de descarga son usadas en muchas aplicaciones similares. Al igual que las HID requieren equipo auxiliar para el correcto arranque y operación, el tubo de descarga en una lámpara de sodio a baja presión tiene forma de U, el cual contiene una mezcla de gases argón y neón con una presión de unos cientos de Pascales, para conseguir una tensión de encendido baja, además de metal de sodio a baja presión. El tubo de descarga está situado en el interior de una ampolla de vidrio al vacío, revestida en su interior con óxido de indio, el cual ayuda a mantener la pared del tubo de descarga a la adecuada temperatura de funcionamiento (270 °C), esto permite que el sodio se vaporice a la temperatura más baja posible y se logre, por tanto, la más alta eficacia luminosa.

Cuando el voltaje es aplicado la descarga del arco se realiza a través de los gases de argón y neón. Tan pronto como el metal de sodio en el arco del tubo se calienta y se vaporiza, la característica de color amarillo ámbar del sodio es alcanzada. Su única desventaja es su bajo rendimiento de color. Son usadas en algunas iluminaciones con proyectores, para iluminación de seguridad, en calles y carreteras y en algunas áreas donde no es necesario un buen rendimiento de color, pero sí la percepción de contrastes.

-Lámparas de mercurio. Estas lámparas se constituyen de dos bulbos, uno interior de cuarzo en la que se produce el arco y otro exterior de cristal que protege al tubo de los agentes atmosféricos y actúa como filtro que absorbe la radiación ultravioleta. El tubo de descarga contiene mercurio a alta presión entre 2×10^5 Pa y 10^6 Pa. Para facilitar el arranque, se introduce en el tubo de descarga una pequeña cantidad de gas argón, que se ioniza, más rápidamente. El arco eléctrico inicial salta a través del argón ionizado; una vez que salta, su calor comienza a vaporizar el mercurio, que se convierte gradualmente en conductor.

En algunas lámparas de mercurio de alta presión la superficie interna del bulbo exterior lleva una capa o revestimiento de polvo fluorescente. La radiación ultravioleta emitida por el arco es utilizada para excitarla y dar así una luz adicional y mejor rendimiento de color. Son empleadas frecuentemente en alumbrado público y en el industrial.

-Lámparas de aditivos metálicos o de halogenuros. Son similares a las lámparas de mercurio excepto por la introducción de otro vapor metálico —generalmente compuestos de yodo con indio, sodio o talio—, dentro de un tubo de cuarzo. Produce más luz de buen rendimiento de color. Son usados polvos fluorescentes para cubrir el interior del vidrio exterior. Al igual que las fluorescentes pueden construirse para diferentes tonos de luz, aumentando y variando los elementos metálicos ionizables que se encuentran en el tubo de descarga. Son usadas para iluminar áreas grandes

de oficinas, tiendas, campos de deportes, fábricas, vitrinas y escaparates donde las propiedades del rendimiento de color son importantes.

d) Lámparas fluorescentes. El nombre se debe al fenómeno básico de su funcionamiento, la fluorescencia, consisten en un bulbo tubular que lleva sellado en cada extremo un electrodo. Son lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión en un gas inerte para facilitar el encendido, en el que la mayor proporción de energía emitida desde el arco eléctrico es en forma de radiación ultravioleta que en forma de luz visible. Cuando se aplica la tensión apropiada, un flujo de electrones desplazándose a gran velocidad es impulsado desde uno de los electrodos y atraído por el otro. La colisión entre estos electrones y los átomos de mercurio que se encuentran en su camino producen un estado de excitación cuyo resultado es la emisión de radiaciones ultravioletas. Esta radiación ultravioleta pasa a través del vidrio y excita a la capa de fósforo que se encuentra en la pared interior del tubo de vidrio que se convierte en luz visible. Un dispositivo de arranque y un balastro es necesario para el control de la corriente de la lámpara.

El fuerte avance en la tecnología de polvos fluorescentes ha dejado obsoleta la antigua creencia de que un buen rendimiento de color sólo se podía lograr a costa de la eficacia de la lámpara. De hecho ahora se combina un buen rendimiento en color con una elevada eficacia empleando polvos fluorescentes especiales que contienen ciertos elementos de la familia de las tierras raras.

Las lámparas fluorescentes se clasifican de la siguiente manera: lámparas de cátodo frío (poco utilizadas) y lámparas de cátodo caliente; dentro de estas se encuentran las lámparas de arranque por precalentamiento, arranque rápido y arranque instantáneo. Se presentan en forma cilíndrica, recta, curvada en U o en círculo. Las hay en diversos colores, así como en variaciones de blanco, producido por el uso adecuado de fósforos. Entre sus usos más frecuentes se encuentran los siguientes: hoteles, restaurantes, oficinas, auditorios, escuelas e iluminación exterior.

Dentro de estas lámparas se encuentran las lámparas fluorescentes compactas, tienen el mismo principio básico de funcionamiento que las fluorescentes normales. Estas lámparas utilizan un alto voltaje para encender y uno mucho menor para mantenerse en operación, por lo que requieren un balastro para mantenerse en operación. Son eficientes y son una alternativa para ahorro de energía para baja potencia. Para reducir su tamaño se necesita elaborar sustancias fluorescentes que presenten mayor resistencia a los rayos ultravioleta. El tubo fluorescente tiene una mezcla interior de mercurio y amalgama para controlar la presión del mercurio. Se pueden utilizar en hoteles, restaurantes, en mostradores y en iluminación doméstica.

1.2. La evolución de las lámparas.

La humanidad ha peleado con la oscuridad desde los principios de la civilización con

la luz hecha por el hombre. El hombre primitivo primero utilizó el fuego, el cual le proporcionó calor, le ayudó a preparar comida y lo protegió de bestias salvajes; con el fuego creó antorchas, las cuales representan la primera luz portátil del hombre.

Hasta hace pocos años comparativamente, se utilizaba la antorcha, la vela y lámparas de aceite, acetileno, petróleo y gas, como únicas fuentes de luz, las cuales obligaban a la gente a abastecerse continuamente, a hacer sustituciones frecuentes y sistemas de encendido complicados, que implicaban un gran riesgo de incendios.

Gracias al descubrimiento de la electricidad en el año de 1879, Thomas Alva Edison inventa la lámpara incandescente. La lámpara contenía un filamento de hilo de carbón dentro de una bombilla de vidrio con un vacío relativamente alto. El tamaño de la lámpara estaba limitado por la inflexibilidad del filamento, pues el carbón es excesivamente delicado y la lámpara se ennegrecía rápidamente debido a la combustión del carbón.

En 1888 Leigh S. Powell de Gran Bretaña desarrolló un proceso para disolver dentro de cloruro de zinc algodón. Esto formaba un jarabe que era chorreado en alcohol y solidificado. El hilo era secado, montado en tambores y carbonizado en crisol. El filamento era resistente y se podía cortar de cualquier tamaño.

El Dr. Willis R. Whitney realizó un nuevo perfeccionamiento en la lámpara de carbón.

En 1905 a los filamentos de carbón les dio un tratamiento térmico en un horno eléctrico. El calor eliminó las impurezas y las lámparas con filamento se perfeccionaron en un 25 por ciento. Las lámparas tenían menor ennegrecimiento. Los filamentos tenaces y flexibles hicieron posible su uso en trenes y otros lugares donde la excesiva vibración había limitado su uso.

En 1906 en Berlín fueron creadas las lámparas con filamento de tantalio, el tantalio era uno de los metales más duros que conocía el hombre. Las lámparas de carbón operaban a casi 4 lm/W, las lámparas de tantalio (en c.d.) tenían una larga vida y una eficacia de 5 lm/W. Su gran desventaja fue que el filamento cristalizaba rápidamente cuando se operaba en c.a..

Las lámparas de filamento de tungsteno prensado fueron inventadas alrededor de 1907, este tipo de lámparas representan un decidido avance sobre las lámparas de carbón de Edison desde el punto de vista de eficacia, pero tenían dos serias desventajas: un alto costo y eran extremadamente frágiles.

En 1911 se presentan las lámparas de tungsteno resistente (dúctil). Años más tarde nace la lámpara de filamento de tungsteno dúctil rellena con gas, la alta calidad de esta lámpara fue posible básicamente a dos inventos:

1) Hacer resistente el alambre del filamento con tungsteno dúctil. Después de años

de esfuerzo el investigador William D. Coolidge presento el producto "milagroso" tungsteno dúctil; las lámparas con filamento de tungsteno dúctil fueron más baratas de hacer, más resistentes y el hecho de que el alambre resistente se pudiera hacer en espiral permitió que las actuales fuentes de luz sean verdaderamente pequeñas. El arrollamiento en espiral del filamento reduce las pérdidas por calor e incrementa la eficacia; y

2) rellenar la bombilla con gas en vez de dejarlo al vacío. En ese tiempo las lámparas rellenas con gas eran dos veces más eficientes que las lámparas al vacío.

En los sucesivos años muchas mejoras fueron hechas a las lámparas. No todos ellos tan evidentes como fue la construcción de lámparas sin punta, hasta antes de 1913 se podía observar una punta de vidrio en la parte superior de la lámpara incandescente, lo cual representaba una desventaja en la apariencia de la lámpara, además existía un mayor riesgo de que se quebrara. En 1913 las lámparas fueron hechas, por primera vez, al vacío desde la base y la punta quedó en secreto en la base. Este hecho no sólo mejoró la apariencia de las lámparas, sino que redujo los accidentes de mano de obra y la indemnización al público por lámparas rotas.

Los filamentos de las lámparas incandescentes siempre han operado a altas temperaturas, los filamentos de las lámparas deslumbraban por lo cual durante muchos años una tentativa para disminuir el deslumbramiento fue hacer un deslustre

u opacamiento en la parte exterior del bulbo. Esto trajo varias desventajas. Había que adicionar una carga extra, además el deslustre exterior no sólo absorbía una considerable cantidad de luz, sino que recolectaba polvo lo cual dificultaba aún más la visibilidad. Esto hizo que se demandara un mejor deslustre.

En la década de los cincuenta casi todas las lámparas de iluminación tenían un deslustre interior. Esta fue una invención de Marvin Pikin en 1925, el deslustre interior no acumula polvo y permitía una mejor iluminación, este deslustre era hecho con ácido el cual debilitaba el vidrio; en 1929 perfeccionó este método, adelgazando el ácido, de tal manera que el vidrio no se debilitara.

En 1949 este mismo investigador anunció un método nuevo para mejorar la difusión de luz de una lámpara de tungsteno, el cual consistía en empolvar la superficie interior con una capa de sílice blanca. El nuevo bulbo tenía un aspecto completamente blanco, uniformidad de brillo y una mayor difusión sin reducir la eficacia de la lámpara.

En 1932 Gwilym Prideaux, ideó la lámpara llamada de foto-torrente, la cual representa la primera lámpara utilizada en cámaras fotográficas.

En 1934 aparecen las lámparas incandescentes con doble espiral; la función de esta doble espiral es evitar al máximo la dispersión del calor lo cual incrementa la eficacia

de la lámpara y reduce el tamaño del filamento.

En 1938 nacen las primeras lámparas incandescentes utilizadas como proyectores o faros de inundación, de sección parabólica, permitiendo un exacto control de la luz. El vidrio era grueso y tenía una alta resistencia térmica.

En 1939 nacen los faros para automóvil, para ser usados en coches de 1940, en 1952 casi 40,000 bicicletas fueron equipadas y más de 60 tipos de faros fueron hechos por militares, faros para desembarco, faros para avión, para niebla, etc.

Posteriormente se dieron significativos perfeccionamientos en las lámparas incandescentes: mejoras en la geometría de reflectores y de sus materiales, mejores filamentos, un relleno con una mayor fracción de argón o con criptón —la baja conductividad térmica del criptón, permite un alto rendimiento del filamento, larga vida y mejor mantenimiento del nivel de iluminación a través de su vida— las coberturas reflejantes de rayos infrarrojos que fue desarrollado en los ochenta y la química del halógeno (introducido en 1958 y que todavía esta en proceso de desarrollo).

Actualmente en algunos países se monta el filamento en posición vertical en lugar de horizontal con lo cual se obtiene una mayor emisión luminosa, ya que se absorbe menos luz por parte del casquillo de la lámpara. Además, el ennegrecimiento de la

ampolla que se presenta a medida que la lámpara va envejeciendo se localiza dentro de un campo más pequeño, y el mantenimiento de la emisión luminosa a lo largo de su vida es más alto.

Después de haber hecho una reseña de la evolución de las lámparas incandescentes podemos decir que la genialidad de Edison aportó dos cosas trascendentales a la humanidad: 1) la primera lámpara incandescente y 2) proporcionó a las lámparas de un sistema de conexión que aún actualmente funciona como soporte y como contacto eléctrico, permitiendo a cualquier persona sustituir un foco.

Si observamos las lámparas incandescentes actuales notamos que ninguna cae en desuso porque haya sido superada por una más moderna, y las más novedosas que se encuentra en el mercado se desarrollaron gracias a los modelos pioneros. Por lo tanto podemos prever que la evolución continuará por el mismo camino y permitirá obtener una creciente eficacia, lámparas de mayor duración y una gama de tonalidades cada vez más amplia.

En 1675 Jean Picard, un astrónomo francés, observó un efecto curioso dentro de un barómetro. Estando en el observatorio de París, él en una ocasión al mover el barómetro durante la noche logro ver un resplandor luminoso en la porción vacía del tubo cuando el mercurio fue sacudido. Las propiedades de este metal-líquido en su forma gaseosa hizo posible dos tipos de lámparas modernas de descarga eléctrica:

las de mercurio y las fluorescentes.

En 1935 fue presentada la lámpara tubular de 18 pulgadas de longitud (45.72 centímetros), la lámpara fue llamada lámpara fluorescente, la cual tenía electrodos de alambre de tungsteno en espiral y tres de este tipo de cátodo caliente fueron anunciadas en 1938 como una nueva fuente de luz de color. Estas fueron la de 15, 20 y 30 watts. Estas lámparas eran del tipo precalentamiento.

En los años treinta fueron presentadas en Londres los llamados tubos fluorescentes revestidos de cátodo frío las cuales fueron utilizadas en alumbrado interior. Los electrodos de hierro largo de las lámparas de cátodo frío no emitían electrones tan fácilmente como los pequeños electrodos (de filamentos) de la lámpara de cátodo caliente, debido a esto se presentaba una gran pérdida de potencia en los electrodos de la lámpara de cátodo frío.

Más tarde se desarrollan lámparas fluorescentes con un excelente color, las cuales contenían fósforos especiales.

Las lámparas fluorescentes de arranque instantáneo hicieron su aparición en el año de 1944, con el propósito principal de eliminar el arranque lento que se venía experimentando con las lámparas del tipo precalentamiento.

En el año de 1952 aparecen las lámparas fluorescentes de arranque rápido. En realidad, arrancan tan rápidamente como las de arranque instantáneo, su única diferencia es que utilizan balastos más eficiente y más pequeños que los balastos de arranque instantáneo.

Las lámparas de mercurio aparecen a principios de la década de los treinta y las de sodio de baja presión a finales de esa misma década.

Las lámparas de aditivos metálicos (halogenuros), aparecen a principios de 1960. Cuentan hoy día, entre todas las destinadas a la iluminación general, con la mayor variedad de potencias: desde 35 hasta 3500 watts. Al igual que las fluorescentes pueden construirse para diferentes tonos de luz, aumentando y variando los elementos metálicos ionizables que se encuentran en el tubo de descarga.

Las lámparas de sodio de alta presión aparecen en el año de 1968.

En 1980 se comercializan en Japón las primeras lámparas fluorescentes compactas, entre 1981-1982 en Europa y en el año de 1983 en los Estados Unidos. Estas lámparas utilizan un alto voltaje para encender y uno mucho menor para mantenerse en operación, por lo que requieren un balastro para mantenerse en operación. La tendencia actual se dirige a la reducción del tamaño de las fuentes luminosas, existen actualmente lámparas fluorescentes compactas de diferentes tamaños, la

más compacta acaba de salir al mercado, tiene el mismo tamaño que las lámparas incandescentes que actualmente se utilizan en el sector residencial. Para reducir su tamaño se necesita elaborar sustancias fluorescentes que presenten mayor resistencia a los rayos ultravioleta y en algunos casos plegar los tubos una, dos y hasta tres veces, para disponer de una superficie de emisión igual a las otras en un espacio más reducido. Actualmente se introducen fósforos tricromáticos, que proporcionan un mayor flujo luminoso con mejor rendimiento de color.

Investigación constante, más producción, maquinaria especializada, métodos superiores, experiencia de décadas, mejores materiales, todo esto contribuye a fabricar mejores lámparas a más bajos precios.

Capítulo 2 Antecedentes

2.1 Acciones realizadas en México para ahorrar energía en iluminación.

2.2 El proyecto Hermosillo.

2.3 El Proyecto Puebla.

2.4 El Proyecto Querétaro.

Antecedentes

2.1 Acciones realizadas en México para ahorrar energía en iluminación.

En respuesta a los lineamientos establecidos para la Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE), creada por decreto presidencial en septiembre de 1989, en noviembre de ese mismo año se crea, dentro de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE).

EL PAESE asume las actividades que había venido realizando el Programa Nacional del Uso Racional de la Energía Eléctrica (PRONUREE). El PRONUREE, que venía operando desde 1980, tuvo resultados significativos en cuanto a concientización de los usuarios. Desafortunadamente y como consecuencia de la carencia de los recursos financieros, no se pudieron realizar proyectos demostrativos.

El 12 de julio de 1990 se acuerda crear un Fideicomiso privado en apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE). El objetivo de este Fideicomiso, es realizar acciones que permitan promover el empleo racional de la energía eléctrica, en la industria, la agricultura y los servicios, además de la prestación de asistencia técnica a los consumidores que busquen ahorrar energía.

Dentro de las áreas de oportunidad que ha identificado el PAESE, para la realización

de proyectos piloto y que reviste gran importancia no sólo por su carácter social sino también por su clara contribución a la demanda máxima coincidente, destaca el sector doméstico y dentro de este sector se encuentra la iluminación.

La PAESE reconoce el potencial que nuevas tecnologías, como el de las Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC), tienen para la reducción de la demanda máxima en horas pico. Con este motivo se decidió iniciar una serie de proyectos piloto.

2.2 El proyecto Hermosillo.

De las áreas geográficas bajo el servicio de la CFE, la zona norte de la República Mexicana es la que mayores consumos eléctricos presenta. Entre las ciudades de mayores consumos se encuentra la ciudad de Hermosillo. Esta ciudad tenía en 1990, la cantidad de 111,419 usuarios domésticos con un consumo mensual de 286 kWh/mes, el cual es uno de los más altos en el país. Los usuarios domésticos de la ciudad de Hermosillo, por las altas temperaturas que se presentan en verano, están sujetas a la tarifa 1-D.

El proyecto se inicia en dicha ciudad en el mes de marzo de 1990.

Como primera actividad en el desarrollo de este proyecto se negoció una donación

de 1,500 lámparas fluorescentes compactas de 18 watts con balastro electrónico integrado. Entre los usuarios se seleccionaron a aquellos que tenían las características de ser propietarios y tener un historial de consumo de cuando menos un año. La muestra consistió en 150 usuarios.

Se donaron tres lámparas por domicilio y se instalaron en los lugares de mayores horas de uso. En todos los casos, se tuvo cuidado de anotar las potencias sustituidas para efectos de usar esta información en la evaluación de los efectos del proyecto. Haciendo uso de la información obtenida, en la tabla 2.2.1 se muestran las estimaciones de los ahorros de energía de acuerdo a los niveles de consumo de estos usuarios.

Tabla 2.2.1 Resumen estadístico de ahorros considerando escalones de consumo mensuales en tarifa 1-D.

Escalón de consumo mensual (kWh)	Ahorro promedio/Día/ Usuario (kWh)	Ahorro Promedio/Día/ Usuario N(\$)	Ahorro Promedio/Mes /Usuario (kWh)	Ahorro Prom./Mes /Usuario N(\$)
0-200	0.62	0.052	18.6	1.56
201-500	0.83	0.090	24.9	2.70
501-750	0.95	0.126	28.5	3.78
751-1000	0.88	0.210	26.4	6.30
Más de 1000	1.01	0.387	30.3	11.61

Así: Un usuario que consume mensualmente, sin Lámpara Fluorescente Compacta (LFC), más de 1000 kWh disminuirá su consumo (al usar la LFC de 18 W) en 30.3 kWh por mes que se reflejarán en un ahorro de N\$ 11.61 al instalar tres lámparas de este tipo.

El consumo promedio mensual por usuario en Hermosillo es de 286 kWh/mes y el ahorro promedio es 25.7 kWh/mes, lo que nos da un ahorro total de aproximadamente 9%.

2.3 El Proyecto Puebla.

La ciudad de Puebla se seleccionó en función de su clima templado. La zona tiene 240,700 usuarios domésticos con tarifa 1. El consumo promedio mensual de los usuarios domésticos es de 97 kWh/mes, el cual dada las características climáticas de la región, no tienen variaciones estacionales importantes.

El "Proyecto Puebla" inició en el mes de agosto de 1990 y tuvo características similares al llevado a cabo en la ciudad de Hermosillo. Estas similitudes fueron las siguientes:

- Las lámparas instaladas (un total de 400 LFC) fueron regaladas, las

cuales fueron del tipo electrónicas de 18 W.

- **Se instalaron 3 lámparas por usuario.**

Hubo, sin embargo, importantes variaciones respecto al primer proyecto:

- **Los usuarios seleccionados estaban localizados en un centro habitacional y tenían las características de tener bajos consumos (menos de 100 kWh/mes). Este centro habitacional es "Las Margaritas" de la CTM. El total de usuarios fue de 136.**
- **Como parte del convenio con los usuarios estos estuvieron de acuerdo en mantener los horarios e intensidades de uso de los aparatos electrodomésticos previos a la instalación de las lámparas.**

En la tabla 2.3.1 se muestran los resultados obtenidos a través de las mediciones de consumo a nivel de bancos de transformadores. En esta tabla se pueden observar reducciones promedio por usuario de hasta 20 kWh/mes. Lo cual significa una reducción de 10% en promedio para los 136 usuarios. Esta reducción significó un ahorro mensual promedio de 14.5% de la facturación.

Cabe añadir que en el transformador 7226 se detectaron 6 usuarios que registraron

un consumo superior al 200% posteriores a la instalación de las lámparas, esto se debió a que en uno de los casos hubo una conversión parcial del departamento en un comercio pequeño y en los otros casos se incorporaron aparatos electrodomésticos, lo que dio lugar a mayores consumos.

Tabla 2.3.1 Datos estadísticos del proyecto Puebla.

Parámetro	No. usuarios	Consumo kWh			Consumo/Usua. kWh			Tendencia 2o.bim/inic.
		Inic.	1er. Bim	2do. Bim	Inic.	1er. Bim	2do. Bim	%
Banco No.7226	48	8115	8496	8512	169	177	177	104.7
Banco No.7227	30	5551	4950	4914	185	165	164	88.6
Banco No.7229	58	10760	9628	9564	186	166	165	88.7
Total	136	24426	23074	22990	180	170	169	93.9

1.4 El Proyecto Querétaro.

La ciudad de Querétaro se seleccionó por su cercanía con el Distrito Federal, cuenta con 129,706 usuarios en tarifa doméstica. El consumo promedio mensual de los usuarios es de 98 kWh/mes.

A continuación se muestra una tabla comparativa de los tres proyectos.

Tabla 2.4.1 Análisis comparativo de los tres proyectos piloto de "donación".

Proyectos Características	Hermosillo	Puebla	Querétaro
No. Lamp./Usuario	3	3	5
Tipo de Lámpara	Electrónica 18 W	Electrónica 18 W	Electromagnética 9 W
Clima	Cálido seco	Templado	Templado
No. de Usuarios	139	136	100
Nivel Socio-Eco.	Medio	Bajo	Alto
Consumo prom. kWh/mes	1000	90	200
Período de prueba	Anual	Tres Bimestres	Tres Bimestres
Reducción de demanda por usuario prom.	161 W(*)	17.0%(**)	9%(**)
Reducción en consumo kWh por usuario prom.	3-10%	10.0%	11.9%

* Estimado a nivel usuario por potencia sustituida.

** Medido en bancos de transformadores.

El proyecto en la ciudad de Querétaro tuvo características similares a los dos anteriores. Estas características fueron:

- **Las lámparas instaladas (un total de 500 LFC) fueron regaladas por un fabricante, las cuales fueron del tipo electromagnéticas de 9 W.**

En cuanto a variaciones respecto de los proyectos anteriores se tuvieron los siguientes:

- **Se instalaron 5 lámparas por usuario.**
- **La muestra de usuarios (100 usuarios) fue seleccionada de una colonia residencial. Los usuarios tenían consumos bimestrales por arriba de los 400 kWh.**

Después de estos proyectos se implantaron otros, sólo que estos se realizaron por bonificación de lámparas, esto es otorgar al usuario N \$ 10.00 por lámpara adquirida, entre estos proyectos se encuentran los siguientes:

El proyecto Valladolid, Yucatán, que inicia el 4 de octubre de 1991. La selección de esta ciudad se debió, a que esta región, tiene la característica de que el kWh generado es el de precio más alto para CFE. La información recabada se encuentra en procesamiento, por lo que no se tienen los datos que permitan evaluar la reducción total de consumo y demanda a este nivel.

El proyecto Chetumal, esta ciudad se escogió por las mismas razones que Valladolid,

el cual se implantó el 28 de octubre de 1991. Dado que dicho proyecto aún se encuentra en operación no se tienen resultados significativos de medición. Sin embargo, a partir de datos obtenidos de las facturas de consumo de 10 usuarios escogidos al azar (con consumos previos promedio bimestral de 312 kWh), se observan reducciones promedio de un 8%.

Entre otros proyectos especiales, se encuentra, el proyecto de venta a empleados de C.F.E., en las oficinas centrales del D.F.; el proyecto se inició el 25 de junio de 1991 y al 25 de mayo de 1992 reporta ventas de 9,337 lámparas, este proyecto se planea extender a otras áreas geográficas de C.F.E. y otros organismos como PEMEX, IMSS, etc. El 26 de marzo de 1992 se inicia el proyecto Hermosillo II y aún no se procesan los resultados de este proyecto.

Los resultados y experiencias obtenidas han servido de base para futuros proyectos actualmente en estudio, para sustituir lámparas incandescentes por fluorescentes compactas, en las ciudades de Aguascalientes, Ags., Monterrey, N.L., y Guadalajara, Jal. El único inconveniente de estos proyectos es que la sustitución de las lámparas se realizó de acuerdo a la propuesta por los fabricantes y algunos usuarios mostraron su inconformidad respecto a que algunas lámparas fluorescentes compactas presentaban menores flujos luminosos que las lámparas incandescentes que sustituyeron, por lo que como se verá en el capítulo 4, en esta tesis se utiliza otro criterio para realizar dichas sustituciones.

Capítulo 3 Importancia del ahorro de energía en la iluminación doméstica.

3.1 El sector residencial en la planificación energética.

3.2 El sector eléctrico residencial.

3.2.1 Impactos indirectos al medio ambiente.

3.3 La iluminación en el sector residencial mexicano.

Importancia del ahorro de energía en la iluminación doméstica.

3.1 El sector residencial en la planificación energética.

El consumo energético residencial o doméstico presentó en 1989 el 89.6% del total agrupado en el sector residencial, comercial y público.

El consumo energético del sector residencial mexicano cuenta con características que significan retos y oportunidades específicos para la planificación energética. Entre estas características resaltan las siguientes:

1. El consumo residencial constituye actualmente más del 20%, (según datos de la UNAM alrededor del 20-24%), de la demanda final en el país, absorbiendo el 37.42% la electricidad y 43.69% el gas LP. Posee, además, un alto potencial de crecimiento, dado los siguientes procesos que ocurren en forma paralela:

- a) Un importante crecimiento demográfico. De 1970 a 1990, la población del país se incrementó de 48.2 a 81.1 millones.
- b) La disminución del tamaño familiar promedio. Esta tendencia ha significado un aumento más que proporcional del número de viviendas con respecto a la población total del país.

2. El aumento de la demanda residencial de energía hace efectuar nuevas inversiones para aumentar la oferta energética. Esto es particularmente importante en el caso de la electricidad que tiene una demanda energética importante en horas denominadas "pico", donde la iluminación doméstica es la componente más importante en la demanda máxima coincidente¹.

Asimismo, debido a que el sector residencial es el más subsidiado, la demanda residencial incrementa el déficit presupuestario de las compañías proveedoras de energía.

3. La conservación de los recursos energéticos no renovables como son el petróleo, el gas o el carbón.

4. Los consumos residenciales son responsables indirectamente de un porcentaje importante de emisiones contaminantes, por la alta demanda de energía eléctrica de este sector y la consecuente utilización de fuentes primarias de energéticos.

5. Existen actualmente un conjunto amplio de opciones tecnológicas, económicamente atractivas, para reducir los consumos energéticos residenciales.

¹ Comisión Federal de Electricidad, Curvas de carga en 1987 del sistema interconectado nacional, Subdirección de Construcción, Gerencia de Estudios, México, 1988.

Observando la situación del sector residencial logramos observar la importancia que reviste en este sector la electricidad –y dentro de los usos finales de la electricidad la iluminación –, en la planeación energética, por lo cual requieren un estudio más detallado.

3.2 El sector eléctrico residencial.

En los últimos años la electricidad ha tenido una creciente demanda dentro del sector residencial, debido en gran parte a un mayor acceso de la población a esta fuente energética, entre 1970-1990 las viviendas con electricidad pasaron del 59 al 88% y en 1993 alrededor del 100% de los hogares del sector urbano a excepción hecha de algunos núcleos marginales ya están electrificados.

En el sector rural aproximadamente el 77% de los hogares ya cuentan con los beneficios de la energía eléctrica y el 33% de las viviendas rurales todavía se iluminan mediante la quema de petróleo en candiles rústicos.

Durante el período de 1980-1991 las ventas de electricidad en el sector residencial han experimentado un fuerte dinamismo, con un crecimiento sostenido que promedia un 9.1% anual, como se puede apreciar en la tabla 3.2.1.

Tabla 3.2.1^{2 y 3} Ventas de Electricidad en México.

Año	Electricidad (TWh)			
	Generación bruta	Generación neta	Ventas	Consumo sector residencial
1980	61.9	59.2	53.0	10.0
1985	85.4	83.4	71.0	14.3
1989	110.1	104.9	91.0	18.8
1990	114.3	108.6	94.3	20.4
1991	119.2	113.2	97.0	22.4

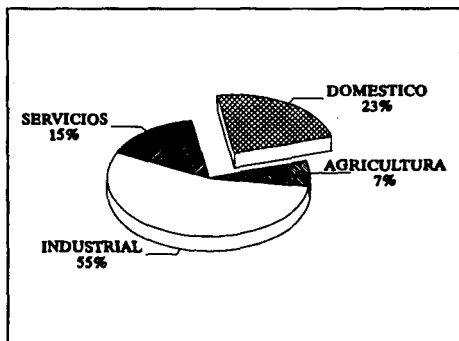
Se estima que las ventas totales para el año 2001, en un escenario económico medio, sean de 174 Terawatts-hora (TWh), de igual manera se espera que las ventas al sector residencial en el mismo escenario sean de 39.2 TWh. Lo cual representa el 22.5% de las ventas totales.

En 1991 el sector doméstico consumió el 23% del total de la electricidad vendida en el país (véase gráfica 3.2.1).

Por su parte los precios de la electricidad residencial son las únicas que experimentan bajas en términos reales. Por el subsidio a la electricidad las compañías

² Comisión Federal de electricidad, Desarrollo del mercado eléctrico 1985-2001, México, 30a. edición, 1992.

eléctricas perdieron 2.3 billones de pesos en 1990³.



Gráfica 3.2.1^{2 y 4} Usos de energía eléctrica por sectores en México.

A pesar de estar necesitado de los fondos usados para el subsidio de la energía al sector residencial, el gobierno no puede aumentar los precios en forma abrupta, ya que la energía se ha vuelto una componente importante del gasto de la mayoría de

³ Friedman, R., El Sector Eléctrico Residencial Mexicano: Principales Usos Finales y Potencial de Ahorro, Memoria XII Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía y Exposición de equipos y servicios, México, ATPAE, 1991, pp. 25-27.

⁴ Omar Mansera et al., Consumo Residencial de Energía Para Iluminación en el Sector Residencial Mexicano, En Primera Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano, México, UNAM, 1991, pp 73-96 y pag. 102.

los mexicanos; pero si puede incrementarlos poco a poco de tal forma que reflejen el costo real y así concientizar a los usuarios de la importancia de ahorrar energía. Las tarifas deben diseñarse para castigar el consumo excesivo y dar señales a los consumidores sobre la importancia de ahorrar energía.

Considerando que el 73% de la energía eléctrica generada en el país se produce a base de recursos no renovables como son los hidrocarburos y el carbón mineral y que para hacer frente al crecimiento de la demanda, se requiere hacer inversiones cuantiosas para la construcción de centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones y redes de distribución, resultan de capital importancia las medidas que puedan aplicarse para reducir tanto el consumo como la demanda máxima.

Tomando en cuenta el constante incremento de la población y la disminución del tamaño familiar promedio, lo cual ha significado un aumento más que proporcional del número de viviendas con respecto a la población total del país, se espera según, datos de la CFE, que las ventas de electricidad del sector eléctrico residencial llegaran de 22.4 TWh en 1991 a 27.5 TWh en 1993 y a 39.2 TWh en el año 2001, por lo cual se requerirá construir más plantas generadoras. Adicionalmente, las plantas generadoras de gran capacidad que pueden ser construidas rápidamente son en general termoeléctricas que funcionan con combustibles fósiles. Lo cual tiene grandes costos ambientales tanto local como globalmente.

Esta situación nos presenta como más viable la conservación de energía como una estrategia más limpia y económica para satisfacer las necesidades del crecimiento en el consumo eléctrico.

3.2.1 Impactos indirectos al medio ambiente.

En México la mayor parte de los recursos energéticos utilizados para la producción de energía eléctrica son combustibles fósiles. En las regiones áridas, la generación de electricidad mediante plantas termoeléctricas puede contribuir al abatimiento de los mantos acuíferos y al incremento de la salinidad del agua, dados los altos consumos de agua requeridos para el enfriamiento de estas plantas -en el norte del país, donde el agua es muy escasa, la electricidad se genera mayormente en sistemas que requieren de grandes cantidades de agua para enfriamiento-.

También pueden ser importantes los efectos ambientales en las regiones donde se inundan extensiones considerables de terreno para la instalación de centrales hidroeléctricas.

El uso de hidrocarburos presenta severos problemas ambientales desde la fase de exploración y extracción de los recursos (como es el caso de los derrames de petróleo en el Golfo, la tala de selvas en el Sureste para la perforación de pozos,

etc.) hasta su combustión final.

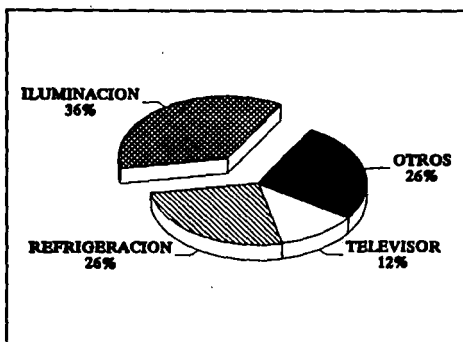
Esta última, ya sea que se realice para la producción de electricidad o por la refinación y posterior combustión de sus derivados generan emisiones de partículas, gases de invernadero, óxidos de nitrógeno y bióxidos de azufre. La continua adición de estos gases a la atmósfera, además de contribuir a la contaminación ambiental sobre zonas aledañas, puede conducir a problemas de lluvia ácida, smog y problemas globales como el cambio climático.

La generación a base de energía nuclear no consume hidrocarburos, pero presenta otro tipo de contaminación de gran riesgo: el de las radiaciones. Este tipo de generación presenta dos problemas fundamentales, el de la seguridad y el de la disposición final de desechos altamente radioactivos.

3.3 La iluminación en el sector residencial mexicano.

Dentro de los usos finales de la electricidad, la iluminación cuenta con el 36% y la refrigeración el 26% de la demanda de la electricidad (véase gráfica 3.3.1).

La iluminación doméstica utiliza una gran cantidad de lámparas incandescentes, estas son las de más baja eficacia luminosa, debido a que su operación está basada



Gráfica 3.3.1⁵ Usos finales de la energía eléctrica residencial.

en el calentamiento de un filamento hasta el rojo blanco, con lo cual convierte el 90% de energía eléctrica en calor y solamente el 10% en luz. Por lo tanto para alcanzar óptimos niveles de iluminación se requiere de la instalación de lámparas que demandan un suministro alto de potencia (25, 40, 60, 75 y 100 watts).

La iluminación es, sin lugar a dudas, uno de los rubros más atractivos para ahorrar energía en el sector doméstico, en virtud de la existencia de otras tecnologías disponibles, las cuales son más eficientes que las lámparas incandescentes que

⁵ ATPAE, XII Seminario Nacional de Uso de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios, Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, A.C. (ATPAE), México, 1992, pp 511-512.

actualmente se utilizan en el sector residencial mexicano.

El uso eficiente de energía para iluminación en el sector doméstico, se basa fundamentalmente en dos puntos:

1) El uso de tecnologías más eficientes, como puede ser el uso de lámparas fluorescentes compactas, aunque no han sido suficientemente exploradas y su uso no ha sido suficientemente difundido.

2) Educación a los usuarios, por ejemplo, apagar luces.

Se estima que se pueden obtener ahorros de hasta el 75% por lámpara ó 20% a 30% por vivienda, por el simple hecho de sustituir lámparas incandescentes, por lámparas fluorescentes compactas.

En México existen lámparas fluorescentes compactas de diferentes potencias, desde 5 hasta 23 watts para sustituir en su caso a lámparas incandescentes de 25 hasta 100 watts, lo cual nos da una idea del gran potencial de ahorro de energía que existe en la iluminación doméstica, mencionando además que la lámpara incandescente de 100 W representa el 55% de las ventas totales de incandescentes.

Dentro del uso de nuevas tecnologías también existen lámparas incandescentes

mejoradas, cuyo filamento opera en una atmósfera de gas inerte, este gas puede ser xenón o criptón, solamente que el ahorro de energía obtenido con este tipo de lámparas no es tan representativo como el que se obtendría con el uso de lámparas fluorescentes compactas, como se podrá apreciar en el siguiente capítulo.

La utilización de lámparas fluorescentes compactas dentro de la iluminación doméstica, contribuiría a reducir la contaminación; por consumir menos energía que las lámparas a las que sustituyen, y es que al requerirse menos energía eléctrica, se evita quemar gran cantidad de combustibles para generar la electricidad. Por ejemplo, al sustituir una lámpara incandescente con una lámpara fluorescente compacta de 18 W, estaríamos contribuyendo al mejoramiento del medio ambiente, ya que gracias a su alta eficacia una sola lámpara fluorescente compacta de 18 W, durante toda su vida promedio, habrá contribuido a reducir la contaminación ambiental, al no ser necesario quemar 1 barril de petróleo evitándose con esto la emisión a la atmósfera de 415 kg de bióxido de carbono (gas invernadero), que causa el calentamiento global del planeta, por ser uno de los gases con mayor capacidad para retener el calor radiante que la tierra emite después de recibir los rayos solares; y de 3 Kg de bióxido de azufre, que es el principal agente que causa la lluvia ácida, la cual daña a bosques y ecosistemas; además de que también evita emisiones de óxidos de nitrógeno, (véase tabla 3.3.1).

Tabla 3.3.1 Reducción de contaminantes al sustituir una LFC por una lámpara incandescente equivalente⁶.

Reducción de contaminantes	17 W (kg)	18 W (Kg)	9 W (kg)	11 W (Kg)	15 W (Kg)	20 W (Kg)	23 W (Kg)
Calentamiento global (CO ₂)	312	415	116	211	327	400	487
Lluvia ácida (SO ₂)	2.3	3.0	0.9	1.5	2.4	2.9	3.5
Smog (NO _x)	1.2	1.6	0.4	0.8	1.3	1.5	1.9

Como se mencionó anteriormente la iluminación doméstica es la componente más importante en la demanda máxima coincidente de electricidad en horas denominadas "pico" (de 6 de la tarde a las 10 p.m.). Por lo que la mayoría de las lámparas, que se sustituirían, estarían funcionando durante la demanda pico; esto hace que se acentúe, aún más, la importancia del uso de las lámparas fluorescentes compactas, ya que, para cubrir la demanda de energía eléctrica en horas pico se utilizan las centrales de turbogas cuyo combustible, inversión inicial, costos de operación y mantenimiento son de los más costosos del país⁷. Debido a esto cada kilowatt-hora que se genere, adicionalmente, en estas horas representa un gran costo a CFE.

⁶ Considerando que las lámparas fluorescentes compactas de 15,17,18 y 20 watts sustituyen al incandescente de 75 W, las de 9 y 11 watts al incandescente de 60 W, y la lámpara de 23 W a la incandescente de 100 watts.

⁷ CFE, Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico, CFE gerencia de estudios, México, 9 edición, 1989.

Asimismo, debido a que el sector eléctrico es el más subsidiado, la demanda de energía eléctrica residencial incrementa el déficit presupuestario de las compañías proveedoras de energía.

Bajo estas circunstancias, el uso racional de la energía en el sector residencial reviste especial interés, ya que puede representar ventajas significativas desde el punto de vista social, económico y ambiental.

En el aspecto socio-económico puede permitir a la población acceder a los mismos (o mejores) servicios proporcionados por la energía, con menores erogaciones monetarias, ahorrar al país parte de las inversiones necesarias para aumentar la oferta de energía, disminuir la demanda de energía en horas pico y ayudar a la conservación de los recursos energéticos no renovables.

En el aspecto ambiental, una menor demanda de energía eléctrica y el uso adecuado de los recursos reducen las emisiones de contaminantes, los impactos asociados con la extracción y producción de combustibles.

Capítulo 4 Panorama nacional e internacional que guarda la fabricación de lámparas fluorescentes compactas de los principales fabricantes.

4.1 Lámparas de uso doméstico comercializadas en México.

4.1.1 Sustitución de lámparas incandescentes estándar con lámparas fluorescentes compactas.

4.2 Lámparas fabricadas en el extranjero que no se venden en México.

4.2.1 Lámparas fluorescentes compactas.

4.2.2 Lámparas incandescentes con gas inerte (gas criptón).

Panorama nacional e internacional que guarda la fabricación de lámparas fluorescentes compactas de los principales fabricantes.

4.1 Lámparas de uso doméstico comercializadas en México.

En la década de los treinta surgen los primeros fabricantes de lámparas incandescentes y en las décadas de los 50 y 60 se establecen prácticamente la mayoría de empresas existentes en la actualidad.

La producción nacional de focos y lámparas eléctricas se encuentra concentrada, pues se compone en general por pocas empresas de grandes dimensiones.

En un estudio realizado en la ciudad de México⁸ se encontró que se comercializan productos de 15 empresas diferentes: 5 (33.3%) establecidas en el país, 6 (40%) de Estados Unidos, 3 (20%) de Japón y 1 (6.7%) de Canadá. Asimismo estos productos se vendieron bajo 10 marcas comerciales de las cuales tres, de las empresas establecidas en el país, dominan el mercado.

Las lámparas incandescentes que más se venden en México son aquellas con bulbo

⁸

Instituto Nacional del Consumidor (INCO), Variedad de precios de focos y lámparas para iluminación doméstica en el D.F., septiembre de 1992.

A-60(A-19)⁹ y casquillo E-26 ó E-27¹⁰. De aquí en adelante a éste tipo de lámparas las llamaremos lámparas incandescentes estándar. Las lámparas incandescentes estándar más solicitadas son las que van de los 25 a los 100 watts; en ese rango de potencias se vendieron 157.7 millones de unidades en 1991, en su mayoría para ser usadas en el sector residencial; y en 1992 las ventas hasta noviembre fueron de 150.1 millones de unidades, y posiblemente superen las ventas de 1991¹¹.

En México las lámparas más vendidas de éste tipo son las de 100 watts, como se observa en la gráfica 4.1.1, ocupando más de la mitad del mercado de lámparas con potencias entre 25 y 100 W.

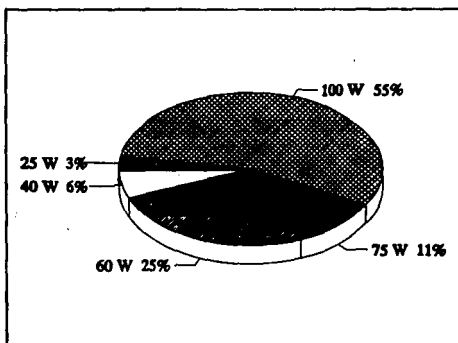
Los fabricantes nacionales de lámparas han expresado que esta preferencia por las lámparas de 100 W es debida a que es frecuente encontrar lámparas incandescentes estándar de diferentes potencias al mismo precio, prefiriendo los compradores las de mayor flujo luminoso, sin considerar su alto consumo de energía debido a que

⁹ La A es una designación aplicada a los bulbos comúnmente usados para lámparas de servicio general de alumbrado de 200 watts o menos, el número 60 después de la A indica el diámetro del bulbo en milímetros, aunque casi siempre el diámetro está dado en octavos de pulgada, donde el diámetro equivalente en octavos de pulgada son 19 (A-19). En la mayoría de las lámparas incandescentes con bulbo A-60, el bulbo en vez de estar al vacío, se llena con una mezcla de nitrógeno y argón. Algunos fabricantes todavía comercializan lámparas al vacío sobre todo en lámparas de 25 y 40 W.

¹⁰ La letra E indica que el rosado de la base es tipo Edison y la cifra después de la E indica el diámetro del casquillo en milímetros.

¹¹ INEGI, "Encuesta Industrial Mensual", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, enero de 1991 a noviembre de 1992.

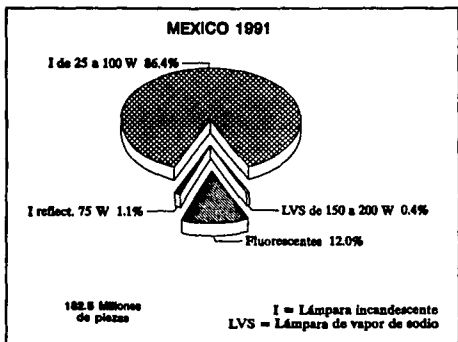
usualmente no lo relacionan con el costo que posteriormente traerá su uso.



Gráfica 4.1.1 Mercado de lámparas incandescentes de 25 a 100 W.

En la gráfica 4.1.2 se revisa como está compuesto el mercado nacional de lámparas, por el tipo de tecnología que se emplea en la iluminación.

Esta gráfica revela que en México las lámparas de mayor penetración en el mercado son las incandescentes, que ocupan más de las dos terceras partes de las unidades vendidas.



Gráfica 4.1.2 Mercado de lámparas¹¹.

4.1.1 Sustitución de lámparas incandescentes estándar con lámparas fluorescentes compactas.

En 1980 surgió la tecnología de iluminación con Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC). Esta tecnología evoluciona rápidamente y ha sido valorada como una importante opción para ahorrar energía y disminuir la demanda de energía en horas pico.

Las lámparas fluorescentes compactas pueden ser utilizadas con un adaptador, con

casquillo E-27, que permite conectar la lámpara directamente al portalámparas ("socket"). Es posible encontrar en México lámparas de éste tipo con balastro electrónico y electromagnético (véase anexo B).

En las tablas 4.1.1.1 a la 4.1.1.5 se muestran algunas de las características de las lámparas fluorescentes compactas comercializadas en México, entre paréntesis se indica el flujo luminoso (ϕ) y la eficacia luminosa (η)¹² de las lámparas incandescentes estándar a las cuales sustituyen. Los cuadros sombreados de cada tabla señalan a la lámpara fluorescente compacta que tiene la mejor eficacia y el mayor ahorro de energía –considerando la potencia demandada por el balastro–, comparado con la lámpara incandescente estándar que sustituye.

Las lámparas fluorescentes compactas tienen un voltaje de operación comprendido en el rango de 120 a 127 volts, mientras que el de las lámparas incandescentes se encuentra en el rango de 125 a 127 volts.

La clasificación de las LFC, tanto nacionales como extranjeras, se realizó de acuerdo al flujo luminoso que proporcionan comparando con el que tienen las lámparas incandescentes estándar. Se considera aceptable que una lámpara fluorescente

¹²

De acuerdo a lo establecido por la Norma Oficial Mexicana, el símbolo de la eficacia luminosa es K y no η , pero debido a que eta (η) es el símbolo utilizado por los fabricantes y que, por lo tanto, es el más conocido seguiremos utilizando este símbolo como representante de la eficacia luminosa.

compacta presente una disminución en su flujo luminoso de hasta un 10% comparado con el flujo luminoso de la lámpara incandescente a la cual sustituye, más adelante se dará una justificación de esta medida. La clasificación de las LFC no corresponde en la mayoría de los casos a la propuesta por los fabricantes, debido a que en esta propuesta se encontraron disminuciones en el flujo luminoso de las lámparas fluorescentes compactas de hasta un 27% comparado con el de la lámpara incandescente a la cual sustituía.

La potencia nominal –mostrada en las tablas–, corresponde para el caso de lámparas que utilizan balastro electromagnético únicamente a la potencia demandada por la lámpara, esto es debido a que es posible la adquisición por separado de la lámpara y el balastro.

Por lo que para los cálculos de eficacia luminosa y ahorro de energía de las lámparas que utilizan balastro electromagnético, se considera que el balastro demanda, adicionalmente, el 25% de la potencia nominal de la lámpara, a excepción de las lámparas que sustituyen a los focos incandescentes de 25 W, para las cuales se considera que el balastro de las lámparas de 7 y 5 watts, demandan el 42.82 y 60% de la potencia nominal de la lámpara respectivamente¹³.

¹³

En pruebas realizadas por el Instituto Nacional del Consumidor (INCO) se encontró que las lámparas con balastro electromagnético demandan en promedio del 20 al 25 % de la potencia nominal de la lámpara, aunque en la mayoría de los casos no superaba el 20%. En este estudio se considera el valor de 25 % para mantener un margen de error. Por su parte las lámparas de 7 y 5 watts demandan 42.86 y 60 % respectivamente.

Los cálculos de eficacia luminosa y ahorro de energía de las lámparas que utilizan balastro electrónico, se realizan con los datos de la potencia nominal¹⁴. Como el balastro y la lámpara vienen sellados en una sola unidad, no es posible la sustitución de cualquiera de los elementos, por lo que la potencia nominal corresponde a la potencia demandada por el sistema lámpara-balastro.

Debido a que no es posible proporcionar las marcas y modelos de las LFC se realizó una clasificación del tipo de lámpara de la manera siguiente, por ejemplo lámpara fluorescente tipo 1-100A¹; donde el primer número nos indica la posición que ocupa la lámpara en la tabla, el número después del guión nos indica a la lámpara incandescente a la cual sustituye, (incandescente 100 W), y la letra el tipo de balastro que utiliza, A = balastro electrónico y B = balastro electromagnético. El superíndice I, después de la letra, nos indica a las lámparas de importación.

Los análisis presentados a continuación se realizan considerando la sustitución de lámparas incandescentes estándar con filamento en espiral doble, por ser las que predominan en el mercado, aunque cabe mencionar que algunos fabricantes todavía comercializan lámparas incandescentes estándar de filamento en espiral simple, las

¹⁴

En las mismas pruebas realizadas por el INCO se encontró que algunas LFC con balastro electrónico demandaban hasta 0.7 W menos de lo que especificaba el fabricante, por lo que se tomó la potencia nominal como una medida de la potencia real demandada por el sistema lámpara-balastro electrónico. Cabe mencionar que en el Instituto de Investigaciones Eléctricas se realizaron pruebas a algunas de las lámparas con balastro electrónico y electromagnético, obteniéndose valores similares.

cuales presentes menores flujos luminosos, que las lámparas incandescentes estándar con filamento en espiral doble.

Todas las lámparas incandescentes estándar, tienen una temperatura de color de 2700 grados Kelvin (K) y un rendimiento de color de 100¹⁵ (Ra). De aquí en adelante se considerará que todas las lámparas incandescente, a las que se haga referencia, tendrán una temperatura de color de 2700 K y un rendimiento de color de 100 Ra, a menos de que se especifique lo contrario.

Tabla 4.1.1.1 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 100 W ($\phi = 1560 \text{ lm} - \eta = 15.6 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-100A'	23	1,550	67.39	77	-64	2700	82

Tabla 4.1.1.2 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 75 W ($\phi = 1070 \text{ lm} - \eta = 14.27 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-75A'	18	1,100	61.11	76.00	2.80	2700	82
2-75A'	20	1,200	60.00	73.33	12.15	2700	82
3-75A'	20	1,200	60.00	73.33	12.15	2700	82

¹⁵

CIE Committee TC-3.2: Method of Measuring and Specifying Color Rendering Properties of Light Sources, 2nd Edition, CIE Publication No. 13.2, Paris, 1974.

Tabla 4.1.1.3 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 60 W ($\phi = 820 \text{ lm} - \eta = 13.67 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-60B	13	900	55.38	72.92	9.76	2700	82
2-60B ¹	13	900	55.38	72.92	9.76	2700	82
3-60B ¹	13	860	52.92	72.92	4.88	2700	82
4-60A ¹	15	900	60.00	75.00	9.76	2700	82
5-60A ¹	17	950	55.88	71.67	15.85	2700	82
6-60B ¹	13	900	55.38	72.92	9.76	2700	86
7-60A ¹	15	900	60.00	75.00	9.76	2700	82
8-60B ¹	13	860	52.92	72.92	4.88	2700	82
9-60B	13	850	52.31	72.92	3.66	2700	82

Tabla 4.1.1.4 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 40 W ($\phi = 490 \text{ lm} - \eta = 12.25 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-40B	9	600	53.33	71.88	22.45	2700	82
2-40B ¹	9	600	53.33	71.88	22.45	2700	86
3-40A ¹	11	600	54.55	72.50	22.45	2700	82
4-40B ¹	9	575	51.11	71.88	17.35	2700	82
5-40B	9	600	53.33	71.88	22.45	2700	82

Tabla 4.1.1.5 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 25 W ($\phi = 260 \text{ lm} - \eta = 10.4 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-25B	7	400	40.00	60.00	53.85	2700	82
2-25B'	7	400	40.00	60.00	53.85	2700	86
3-25A'	7	400	57.14	72.00	53.85	2700	82
4-25B'	5	250	31.25	68.00	-3.85	2700	86

4.2 Lámparas fabricadas en el extranjero que no se venden en México.

4.2.1 Lámparas fluorescentes compactas.

Dos de las principales empresas que dominan el mercado nacional son a la vez los principales fabricantes a nivel internacional. Las lámparas fluorescentes compactas fabricadas por estas dos empresas presentan la misma eficacia, flujo luminoso, potencia, temperatura de color y rendimiento de color, tanto en México como en el extranjero.

A nivel internacional dentro de las lámparas fluorescentes compactas que no se comercializan en México se encuentran las siguientes –véase tablas 4.3.1 a la 4.3.5–, las cuales corresponden a fabricantes con cierto prestigio a nivel internacional. Los cuadros sombreados de cada tabla señalan a la lámpara fluorescente compacta que tiene la mayor eficacia luminosa y ahorro de energía –tomando en cuenta la potencia demandada por el balastro–, comparado con la lámpara incandescente estándar con filamento en espiral doble que sustituye.

Para los cálculos de eficacia luminosa y ahorro de energía de las lámparas se utiliza el mismo criterio que en la sección anterior, la única diferencia consiste en que la potencia demandada por los balastros electromagnéticos son proporcionados por los fabricantes.

Tabla 4.2.1.1 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 100 W ($\phi = 1560 \text{ lm} - \eta = 15.6 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-100A	27	1500	55.56	73.00	-3.85	2700	82
2-100B	28	1800	50.00*	68.00	2.56	2700	82
3-100A	27	1650	61.11	73.00	5.77	2800	84
4-100B	24	1800	75.00	72.00	15.38	3000	81
5-100B	24	1800	75.00	72.00	15.38	2700	82
6-100B	26	1800	60.00*	70.00	15.38	2700	82

* 4 watts adicionales por el balastro electromagnético.

Tabla 4.2.1.2 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 75 W ($\phi = 1070 \text{ lm} - \eta = 14.27 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-75A	18	1100	61.11	76.00	2.80	2700	82
2-75A	20	1100	55.00	73.33	2.80	2700	82
3-75B	22	1200	46.15*	65.33	12.15	2700	82
4-75B	18	1100	50.00	70.67	2.80	2700	82
5-75A	18	1200	66.67	76.00	12.15	2700	82
6-75B	18	1250	56.82*	70.67	16.82	3000	82
7-75B	18	1200	54.55*	70.67	12.15	2700	82

* 4 watts adicionales por el balastro electromagnético.

Tabla 4.2.1.3 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 60 W ($\phi = 820 \text{ lm} - \eta = 13.67 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-60B	11	900	64.29*	76.67	9.76	2700	81
2-60B	13	800	50.00*	73.33	-2.44	2700	81
3-60A	13	960			17.07	2800	84
4-60B	11	900	64.29*	76.67	9.76	2700	82
5-60B	13	900	56.25*	73.33	9.76	2700	82

* 3 watts adicionales por el balastro electromagnético.

Tabla 4.2.1.4 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescentes de 40 W ($\phi = 490 \text{ lm} - \eta = 12.25 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-40B	15	720	40.00***	55.00	46.94	2700	82
2-40A	9	650			32.65	2800	84
3-40A	15	700	46.67	62.50	42.86	2700	81
4-40B	9	570	57.00*	75.00	16.33	2700	81
5-40B	9	600	54.55**	72.50	22.45	2700	82
6-40B	10	600	50.00**	70.00	22.45	2700	82

* 1 watt adicionales por el balastro electromagnético.

** 2 watts adicionales por el balastro electromagnético.

*** 3 watts adicionales por el balastro electromagnético.

Tabla 4.2.1.5 Lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente de 25 W ($\phi = 260 \text{ lm} - \eta = 10.4 \text{ lm/W}$).

Tipo de LFC	Potencia nominal (W)	Flujo luminoso nominal (lm)	Eficacia luminosa (lm/W)	Ahorro de energía (%)	Incr. flujo luminoso (%)	Temp. de color (K)	Rend. de color (Ra)
1-25B	7	400	36.36**	56.00	53.85	2700	81
2-25B	7	400	46.70**	64.29	53.85	2700	82

- 3 watts adicionales por el balastro electromagnético.
- 4 watts adicionales por el balastro electromagnético.

El conocer el panorama nacional e internacional que guarda la fabricación de lámparas fluorescentes compactas y al realizar una comparación entre las LFC comercializadas en México y las que no se encuentran en el mercado nacional – que presentaron la mejor eficacia en su respectiva tabla –, nos permite establecer:

1) En México se comercializa únicamente una LFC como posible sustituto a la lámpara incandescente de 100 W, mientras que a nivel internacional existen varias alternativas. Por otra parte la LFC que ofrece la mayor eficacia luminosa y ahorro de energía, corresponde a la lámpara comercializada en México, presentando una eficacia luminosa de 67.39 lm/W y ahorros de energía de un 77% contra 64.29 lm/W y 72% de la lámpara fluorescente compacta 5-100B que no se encuentra en el mercado nacional.

2) Para el caso de las lámparas fluorescentes compactas que reemplazan a las

incandescentes estándar de 75, 60 y 40 watts se puede observar, en las tablas 4.1.1.2 a la 4.1.1.4 y de la 4.2.1.2 a la 4.2.1.4, que siempre existe una LFC, que no se encuentra en el mercado nacional, que presenta una mejor eficacia luminosa proporcionando mayores o iguales ahorros de energía que las LFC que mostraron tener la mayor eficacia luminosa dentro de las LFC comercializadas en México. Por ejemplo: la única diferencia entre la lámpara 1-75A¹ y la lámpara 5-75A de la tabla 4.2.1.2 es el mayor flujo luminoso que presenta la segunda, por otra parte la lámpara 3-40A¹ de importación tiene una eficacia de 54.55 lm/W, y su utilización nos permitiría obtener un ahorro de 72.50% por 72.22 lm/W y 77.50% de la lámpara 2-40A que no se vende en el país.

3) En el mercado nacional existe una LFC, sustituto de la lámpara incandescente estándar de 25 W, que presenta la mayor eficacia y ahorro de energía que cualquiera de las lámparas mostradas en la tabla 4.2.1.5, esta lámpara es la 3-25A¹, la cual tiene una eficacia de 57.14 lm/W, proporcionando un ahorro de energía de 72% contra 40 lm/W y 60% de la lámpara 2-25B de la tabla 4.2.1.5, lo cual marca una clara ventaja de la lámpara nacional.

De esto podemos concluir que en México existen LFC sustitutos de lámparas incandescentes estándar de 25 y 100 watts que superan en eficacia luminosa y ahorro de energía a las LFC que se venden en otros países. Esto no sucede con las LFC sustitutos de lámparas incandescentes estándar de 75, 60 y 40 watts, y en

aparencia las menores eficacias de las LFC 1-75A¹, 4-60A¹, 7-60A¹ y 3-40A¹, que se venden en el mercado nacional, las ponen en desventaja con respecto a las lámparas 5-75A, 3-60A y 2-40A mostradas en las tablas 4.2.1.2 a la 4.2.1.4. Pero en realidad la mejor eficacia de estas lámparas, que no se encuentran en el mercado nacional, son debidas principalmente a que presentan mayores flujos luminosos y en menor medida a que presenten una menor demanda de potencia, la cual es despreciable como se puede observar en la diferencia de ahorros obtenida con una y otra lámpara. Las LFC 4-60A¹, 7-60A¹ y 3-40A¹, que se venden en México, solamente demandan 2 watts más – considerando la potencia demandada por su respectivo balastro –, que las respectivas LFC que manifestaron tener la mejor eficacia en las tablas 4.2.1.3 y 4.2.1.4.

La clasificación de las LFC, realizada en este trabajo, permite que ninguna LFC presente problemas en cuanto al flujo luminoso que proporcionan, en comparación con el de la lámpara incandescente estándar que sustituye; por lo tanto se puede decir que el mercado nacional existen LFC tan buenas como las que no se comercializan en México en cuanto a los ahorros de energía que proporcionan unas y otras lámparas. Cabe mencionar que antes de establecer el panorama nacional e internacional que guarda la fabricación de lámparas fluorescentes compactas, se esperaba que las LFC que se comercializan en México presentaran mucho menores ahorros de energía de los que pudiera proporcionar el uso de LFC que no se encuentran en el mercado nacional.

4.2.2 Lámparas incandescentes con gas inerte (gas criptón).

Dentro de las tecnologías ahorradoras de energía a nivel internacional, que no se comercializan en el mercado nacional, se encuentran las lámparas incandescentes mejoradas cuyos bulbos son llenados con algún gas inerte. El gas inerte utilizado en estas lámparas puede ser xenón o criptón, el más empleado por los fabricantes es el criptón. Las lámparas incandescentes con gas inerte presentadas en las tablas 4.2.2.1 y 4.2.2.2 son lámparas que utilizan criptón, las cuales tienen un voltaje de operación de 125-130 volts; a continuación se hace una comparación entre estas y las lámparas incandescentes estándar de filamento en espiral doble.

Tabla 4.2.2.1 Lámparas incandescentes con gas inerte sustitutos de incandescentes estándar de 40 y 60 W.

Tipo	Estándar	Gas Inerte	Estándar	Gas Inerte
Potencia nominal (W)	40	34	60	52
Flujo luminoso nominal (lm)	490	410	820	800
Eficacia luminosa (lm/W)	12.25	12.06	13.67	15.38
Ahorro de energía (%)	-	15	-	13.33
Incr. flujo luminoso (%)	-	-16.32	-	-2.44
Vida útil (hrs)	1000	1500	1000	1000

Tabla 4.2.2.2 Lámparas incandescentes con gas inerte sustitutos de incandescentes estándar de 75 y 100 W.

Tipo	Estándar	Gas inerte	Estándar	Gas inerte
Potencia nominal (W)	75	67	100	90
Flujo luminoso nominal (lm)	1070	1130	1560	1620
Eficacia luminosa (lm/W)	14.27	16.87	15.6	18
Ahorro de energía (%)	-	10.67	-	10
Incr. flujo luminoso (%)	-	5.66	-	3.84
Vida útil (hrs)	1000	750	1000	750

Capítulo 5. Evaluación.

5.1 Lámparas fluorescentes compactas comercializadas en México.

5.2 Lámparas incandescentes con gas inerte (gas criptón).

5.3 Evaluación económica.

5.3.1 Primera evaluación económica.

5.3.2 Segunda evaluación económica.

Evaluación.

5.1 Lámparas fluorescentes compactas comercializadas en México.

Las propiedades de una lámpara para los efectos de la reproducción de colores se valora bajo un Índice de Rendimiento Cromático (IRC) el cual puede ser general Ra¹⁶ o especial Re (véase anexo A). Se considera que una lámpara fluorescente tiene un excelente rendimiento si el IRC se encuentra comprendido entre 85 y 100, y uno bueno de 74-84¹⁷. La mayoría de las Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC) comercializadas en México tienen un rendimiento de color de 82 en el índice general de rendimiento cromático (Ra), por lo tanto se encuentran en un buen nivel, y sólo cuatro tienen un excelente rendimiento con 86 (Ra). Por lo que el rendimiento de color de las lámparas fluorescentes compactas no representa un problema para su utilización a nivel doméstico.

La temperatura de color es una medida que nos da una idea del color de la luz. La temperatura de color sólo influye en la aceptación del público (véase anexo A). Como puede observarse todas las lámparas fluorescentes compactas tienen una temperatura de color de 2700 K al igual que las incandescentes estándar, por lo cual,

¹⁶ Algunos fabricantes utilizan la letra "g" (Rg) para designar al índice de reproducción cromática general en vez de la "a" (Ra).

¹⁷ Oaram, Manual de alumbrado, España, Editorial Dossat, 1983.

este factor no tiene repercusión alguna.

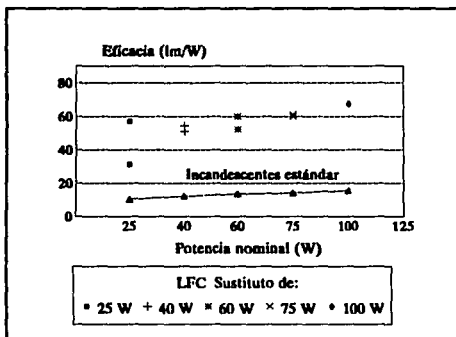
La clasificación de las LFC se realizó considerando disminuciones máximas en su flujo luminoso de hasta un 10%, comparado con el flujo luminoso de la lámpara incandescente estándar a la cual sustituye; esta consideración se debe a que disminuciones en el nivel de iluminación de aproximadamente 10% prácticamente no es apreciable a simple vista y no causa dificultades para la realización de las tareas visuales¹⁸. La experiencia obtenida en los proyectos piloto muestra que el usuario no acepta disminuciones apreciables en el flujo luminoso. Con esta clasificación se obtienen mayores flujos luminosos a excepción de las lámparas 1-100A¹ y 4-25B¹ en las cuales se tienen disminuciones de -0.64 y -3.85 por ciento los cuales se consideran despreciables. Al usuario se le presentan por lo tanto dos ventajas: mayores flujos luminosos con menores consumos de energía.

La eficacia es la más importante desde el punto de vista de ahorro de energía. La eficacia luminosa de una fuente de luz indica el flujo luminoso que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. La eficacia luminosa de las LFC es mucho mayor que el de las lámparas incandescentes estándar, presentando eficacias luminosas que van de 67.39 a 31.25 lm/W contra 15.6 a 10.4 lm/W de las lámparas incandescentes estándar. En la gráfica 5.1.1 se

¹⁸

Carlos García Romero y Alex G. Ramírez Rivero, Opciones para el ahorro de energía en instalaciones existentes de alumbrado fluorescente, México, FIDE, mayo de 1992.

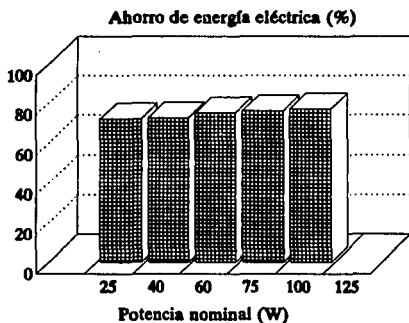
hace una comparación de las eficacias de las LFC que presentan la mayor y menor eficacia con respecto a las lámparas incandescentes estándar.



Gráfica 5.1.1 Eficacias de lámparas fluorescentes compactas e incandescentes estándar.

La gráfica anterior muestra la alta eficacia luminosa que presentan las LFC – hasta de aquellas que se encuentran entre las menos eficaces –, en comparación con las lámparas incandescentes estándar a las cuales sustituyen. Esto significa que se requiere una menor demanda de energía eléctrica para generar niveles de flujo luminoso comparable con el flujo luminoso que puede proporcionar una lámpara incandescente estándar.

En la gráfica 5.1.2 se pueden observar los máximos ahorros de energía eléctrica que se lograrían por el simple hecho de sustituir las lámparas incandescentes estándar por su equivalente lámpara fluorescente compacta. Como se puede apreciar, en esta gráfica, se pueden obtener ahorros de energía eléctrica de hasta un 77% por sustituir a la lámpara incandescente estándar de 100 W, 76% por la de 75 watts, 75% para el caso de la lámpara incandescente de 60 watts, 72.5% por la de 40 watts y finalmente se consumiría el 72% menos de la energía eléctrica que consume una lámpara incandescente estándar de 25 watts con el uso de la lámpara 3-25A¹.



Gráfica 5.1.2 Ahorros de energía eléctrica que se pueden lograr con el uso de lámparas fluorescentes compactas.

5.2 Lámparas incandescentes con gas inerte (gas criptón).

Aunque las lámparas con gas inerte no se comercializan en México decidimos evaluarla como una posibilidad viable para sustituir a las lámparas incandescentes estándar debido al gran uso que han tenido en los Estados Unidos¹⁹ y al menor precio que tienen en comparación con el de las lámparas fluorescentes compactas.

Dentro de las lámparas con gas inerte los fabricantes no han lanzado al mercado sustituto para la lámpara incandescente estándar de 25 watts.

Debido a que la lámpara incandescente con gas inerte de 34 watts presenta una disminución en su flujo luminoso menor al 10% comparada con el que proporciona la lámpara estándar de 40 watts -véase tabla 4.2.2.1-, esta no es una buena alternativa. La experiencia nos muestra que el usuario no acepta disminuciones en el flujo luminoso; la utilización de esta lámpara en México significaría introducir al mercado nacional un producto menos eficiente 12.06 lm/W contra 12.5 lm/W de la lámpara estándar.

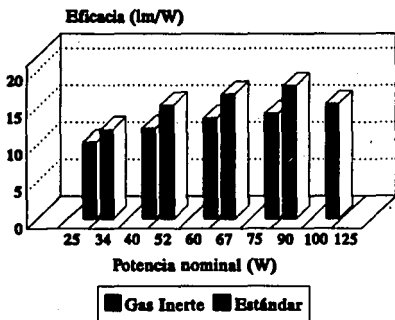
La sustitución sólo es viable en las lámparas incandescentes estándar de 60,75 y 100 watts, las cuales presentan incrementos en su flujo luminoso de -2.44%, 5.66%

¹⁹

Steven Nadel, Howard Geller et. al., Lamp efficiency standards for Massachusetts: Analysis and recommendations. Prepared for: Massachusetts Executive Office of Energy Resources Boston, MA. June, 1989.

y 3.84%, por lo que se encuentran en el rango establecido.

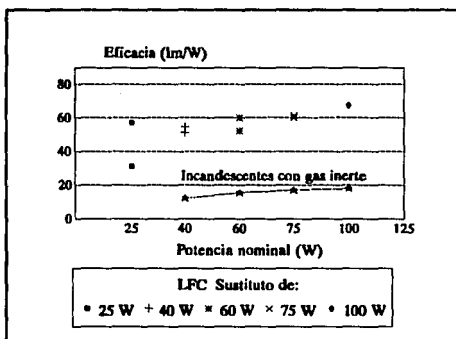
Estas sustituciones nos permitirían obtener eficacias de 15.38 hasta 18 lm/W contra 13.67 a 15.6 lm/W de las tradicionales lámparas incandescentes como puede observarse en la gráfica 5.2.1.



Gráfica 5.2.1 Eficacias de lámparas incandescentes estándar e incandescentes con gas inerte.

A pesar de que las lámparas incandescentes de gas inerte tienen eficacias mayores a las estándar, estas lámparas presentan eficacias mucho menores a las que

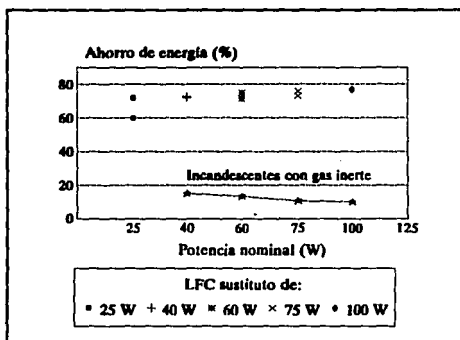
presentan las LFC. Las lámparas fluorescentes que sustituyen a la lámpara incandescente estándar de 60 watts presentan eficacias en un rango de 60 a 52.31 lm/W, las de 75 watts de 61.11 a 60 lm/W y la de 100 watts se encuentra en 67.39 lm/W. Mientras que las de gas inerte presentan eficacias de 15.38, 16.87 y 18 lm/W respectivamente, (véase gráfica 5.2.2).



Gráfica 5.2.2 Comparación de eficacias de LFC e incandescentes con gas inerte.

En lo que respecta al ahorro de energía que pueden proporcionar su utilización, tenemos que con las lámparas de gas inerte se pueden obtener ahorros de energía

de hasta un 13.33%, lo cual representa sólo una pequeña fracción de los ahorros que se pueden lograr con el empleo de las LFC, con las cuales los ahorros alcanzados son de hasta un 77%, (véase gráfica 5.2.3).



Gráfica 5.2.3 Ahorro de energía lámparas fluorescentes compactas vs. incandescentes con gas inerte.

Por lo tanto la mejor alternativa desde el punto de vista eficacia y ahorro de energía la representan las LFC. Sin embargo el alto precio de adquisición de las lámparas fluorescentes compactas puede representar una barrera para generalizar su uso.

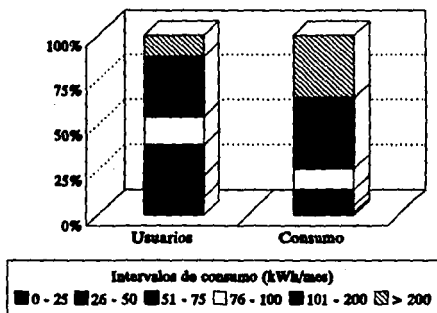
5.3 Evaluación económica.

Esta evaluación tiene por objeto encontrar que tan factible sería para el usuario la sustitución de lámparas incandescentes estándar por LFC. Su alto precio marca una aparente desventaja pero en realidad puede existir un período de recuperación de la inversión, debido a que las lámparas fluorescentes compactas presentan menores consumos y una mayor vida en comparación con las que presentan las lámparas incandescentes estándar.

Como logramos observar anteriormente, el sector residencial presenta el 23% del consumo eléctrico nacional. El Área Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) comprende alrededor del 40% de los hogares electrificados en el país, y sólo 25% del consumo en la tarifa del uso doméstico del Sistema Eléctrico Nacional, debido al clima templado que hace innecesario el uso de refrigeración del ambiente.

La evaluación se realizó para usuarios con consumos mensuales de 75, 100, 200 y 250 kilowatts-hora, debido a que, en el AMCM, 54.6% de los usuarios utilizan menos de 100 kWh/mes – se estima un promedio de 75 kWh/mes –, 33.2% entre 100 y 200 kWh/mes y sólo el 12.2% sobrepasa esta última cifra. En contraste, la participación en el consumo de los tres estratos mencionados es 26%, 39.1% y 34.9%, respectivamente (véase gráfica 5.3.1).

Se llevaron a cabo dos evaluaciones, una para usuarios que tienen en operación a la lámpara incandescente estándar en promedio 2.74 hrs/día y otra para 5.48 hrs/día. Si no es factible la sustitución para ambos períodos de operación, entonces se buscara la sustitución sólo de aquellas que permanecen en operación en promedio 5.48 hrs/día o más.



Gráfica 5.3.1 Distribución de usuarios y consumos (AMCM)²⁰

²⁰

Luis Fernández González, Usos Finales de Energía en la Ciudad de México, En primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano, División de estudios de posgrado, Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1991, pp. 141-144.

Para la realización de esta evaluación económica – que fue desarrollada en base al programa del anexo C –, se considera lo siguiente:

1) Para las lámparas que funcionan en promedio 2.74 hrs/día la evaluación económica se realizó anualmente y para el caso de las lámparas que operan en promedio 5.48 hrs/día la evaluación se llevo a cabo semestralmente.

2) Una vida útil de la lámpara incandescente estándar de 1,000 horas y de la LFC de 10,000 horas; por lo que para la evaluación a 2.78 hrs/día, se considera la adquisición anual de una lámpara incandescente estándar. La evaluación económica a 5.48 hrs/día comprende la adquisición de una lámpara incandescente estándar cada semestre.

3) La tarifa utilizada corresponde a la Tarifa 1 de uso doméstico (véase anexo D).

4) Se considera un incremento en la tarifa energética de acuerdo a lo establecido por las tarifas de uso doméstico (véase anexo D).

5) Una tasa de interés del 17% anual y de 8.16% semestral.

6) Escalones de tarifa energética de acuerdo a la tarifa vigente.

7) Las tarifas incluyen el 10% del IVA.

8) Se tomo una tarifa promedio.

9) Se utilizaron las fórmulas y procedimientos señalados en el anexo C.

5.3.1 Primera evaluación económica.

Se realizó una primera evaluación para lámparas que funcionan en promedio 2.74 hrs/día.

En las siguientes tablas se muestra el período de recuperación, en años, para usuarios con consumos mensuales de 75, 100, 200 y 250 kWh/mes.

Tabla 5.3.1.1 Período de recuperación de la LFC sustituto de la lámpara incandescente de 100 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-100A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D. = No Disponible. Se refiere a que durante el período analizado nunca llegan a igualarse los costos

de adquisición y operación de las LFC, con el que tienen las lámparas incandescentes estándar, a pesar de que las primeras tienen menores consumos de energía.

Tabla 5.3.1.2 Período de recuperación de las LFC sustituto de la lámpara incandescente de 75 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-75A ¹	N.D.	N.D.	N.D.	6.45
2-75A ¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3-75A ¹	N.D.	N.D.	N.D.	7.97

Tabla 5.3.1.3 Período de recuperación de las LFC sustituto de la lámpara incandescente de 60 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-60B	N.D.	N.D.	N.D.	7.19
2-60B ¹	N.D.	N.D.	N.D.	6.98
3-60B ¹	N.D.	N.D.	N.D.	6.68
4-60A ¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5-60A ¹	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6-60B ¹	N.D.	N.D.	N.D.	6.01
7-60A ¹	N.D.	N.D.	N.D.	6.62
8-60B ¹	N.D.	N.D.	N.D.	6.66
9-60B	N.D.	N.D.	N.D.	6.99

Tabla 5.3.1.4 Período de recuperación de las LFC sustituto de la lámpara incandescente de 40 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-40B	N.D.	N.D.	N.D.	6.30
2-40B'	N.D.	N.D.	N.D.	7.50
3-40A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4-40B'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5-40B	N.D.	N.D.	N.D.	6.30

Tabla 5.3.1.5 Período de recuperación de las LFC sustituto de la lámpara incandescente de 25 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-25B	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-25B'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3-25A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4-25B'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

5.3.2 Segunda evaluación económica.

Para las lámparas fluorescentes compactas, que funcionan en promedio 5.48 hrs/día, el período de recuperación está dado en semestres.

Tabla 5.3.2.1 Período de recuperación de la LFC sustituto de la lámpara incandescente de 100 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-100A'	N.D.	N.D.	N.D.	8.91

N.D. = No Disponible. Se refiere a que durante el período analizado nunca llegan a igualarse los costos de adquisición y operación de las LFC, con el que tienen las lámparas incandescentes estándar, a pesar de que las primeras tienen menores consumos de energía.

Tabla 5.3.2.2 Período de recuperación de las LFC sustituto de la lámpara incandescente de 75 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-75A'	N.D.	N.D.	N.D.	7.47
2-75A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3-75A'	N.D.	N.D.	N.D.	6.13

Tabla 5.3.2.3 Período de recuperación de las LFC sustituto de la lámpara incandescente de 60 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-60B	N.D.	N.D.	9.86	5.97
2-60B'	N.D.	9.82	7.72	4.88
3-60B'	N.D.	9.82	7.72	4.88
4-60A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5-60A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6-60B'	N.D.	N.D.	6.15	5.15
7-60A'	N.D.	N.D.	N.D.	7.55
8-60B'	N.D.	N.D.	N.D.	5.87
9-60B	N.D.	N.D.	9.07	5.82

Tabla 5.3.2.4 Período de recuperación de las LFC sustituto de la lámpara incandescente de 40 W.

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-40B	N.D.	N.D.	N.D.	7.26
2-40B'	N.D.	N.D.	9.72	6.10
3-40A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4-40B'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
5-40B	N.D.	N.D.	N.D.	6.82

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

**Tabla 5.3.2.5 Período de recuperación de las LFC
sustituto de la lámpara incandescente de 25 W.**

Tipo de lámpara	Consumo mensual kWh/mes			
	75	100	200	250
1-25B	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-25B'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3-25A'	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4-25B'	N.D.	N.D.	N.D.	9.07

Conclusiones.

Desde el punto de vista de rendimiento de color y temperatura de color, las lámparas fluorescentes compactas no presentan ningún inconveniente para su utilización a nivel doméstico. En lo que respecta al flujo luminoso, la clasificación realizada permite que este no represente una desventaja para el usuario.

La mejor alternativa, para ahorrar energía en la iluminación doméstica, la representan las lámparas fluorescentes compactas, ya que su uso permitiría obtener mayores ahorros de energía de los que se podrían obtener sustituyendo a las lámparas incandescentes estándar por las lámparas incandescentes con gas criptón.

Por otra parte, en la mayoría de los casos, las lámparas fluorescentes compactas con balastro electrónico no justifica su compra, en el estudio realizado, éstas no se llegan a pagar durante toda su vida o su período de recuperación se presenta mucho después que el de las lámparas con balastro electromagnético; los fabricantes esperan que su alto costo tienda a reducirse a medida que se incremente su producción y demanda.

Tomando en cuenta lo anterior la elección más conveniente para sustituir a las lámparas incandescentes estándar de 60, 40 y 25 watts – la única alternativa para la sustitución en 75 y 100 watts es la electrónica –, son las lámparas fluorescentes

con balastro electromagnético, considerando que no existen diferencias apreciables en cuanto a los ahorros de energía eléctrica proporcionados por éstas y los que nos darían las lámparas fluorescentes compactas con balastro electrónico.

La lámpara 1-100A es atractiva únicamente para usuarios con consumos mensuales mayores o iguales a 250 kWh/mes, permaneciendo la lámpara en funcionamiento en promedio 5.48 horas por día (hrs/día).

De las lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la lámpara incandescente estándar de 75 watts, la lámpara 3-75A, es la que presenta un menor período de recuperación. El empleo de esta lámpara es propicia para usuarios con consumos de 250 kWh/mes a 2.74 hrs/día, produciendo mayores beneficios cuando la lámpara permanece en operación 5.48 hrs/día.

Para sustituir a las lámparas incandescentes estándar de 60 W, las lámparas 2-60B y 3-60B, son las que aportan mayores ganancias, la cuales comienzan a ser atractivas para consumidores de 100 kWh/mes, con un uso promedio de 5.48 hrs/día, y su utilización solamente es atractivo para lámparas que operan 2.74 hrs/día con usuarios con consumos iguales o mayores a 250 kWh/mes.

En el rango de 40 watts, la mejor alternativa para el usuario es la lámpara 2-40B, pero su empleo únicamente conviene a usuarios con consumos mayores o iguales

a 250 kWh/mes a 2.74 hrs/día; presentando mayores beneficios a 5.48 hrs/día y siendo ya viable su utilización en usuarios con consumos de 200 kWh/mes.

En el caso de las lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a la incandescente de 25 watts, la mejor decisión que pueden tomar estos usuarios es la compra de la lámpara 4-25B, esta lámpara es atractiva para usuarios con consumos iguales o superiores a 250 kWh/mes, permaneciendo la lámpara en operación un promedio de 5.48 hrs/día.

Debemos tomar en cuenta que en la evaluación económica se tomo una tarifa promedio, cuando en realidad los ahorros de energía se darían en el último y antepenúltimo escalón de la tarifa energética, por lo que los beneficios al usuario son en realidad mayores.

La sustitución de LFC, en cuanto ahorro de energía, traería grandes beneficios a la nación, por contribuir a la reducción de los gastos requeridos para satisfacer la demanda de energía eléctrica, a la conservación de los recursos energéticos no renovables, disminución en las emisiones contaminantes y de la demanda de energía eléctrica en horas pico, donde cada kilowatt que se genere, adicionalmente, en estas horas representa un gran costo a CFE. Por otro lado el alto precio, de las lámparas fluorescentes compactas, no hace tan factible su adquisición; en la mayoría de los casos –a excepción de las lámparas 2-60B y 3-60B–, estas lámparas empiezan a

justificar su utilización para usuarios con consumos mensuales iguales o mayores a 200 kWh, permaneciendo la lámpara en operación 5.48 hrs/día y su empleo sólo es viable, con lámparas que permanecen en funcionamiento 2.74 hrs/día, en usuarios con consumos de 250 kWh/mes. Presentando la desventaja de que algunas lámparas fluorescentes compactas su período de recuperación se da casi al final de su vida útil, lo cual no es atractivo para el usuario, las lámparas podrían dejar de funcionar y no pagarían nunca su alto precio.

Debido a los altos beneficios que proporcionaría el uso de LFC, proponemos que estas lámparas sean subsidiadas. El precio de la lámpara debe de ser tal que ésta se pague, por lo menos, a la mitad de su vida útil (a las 5,000 horas de uso), debido a que, al 50% de su vida el 100% de las lámparas todavía funcionan, al 80% de su vida el 85% y al 100% solamente llega el 50% de las lámparas²¹, esto haría más atractiva su utilización, ya que el usuario además de contribuir a disminuir el consumo de energía eléctrica estaría ahorrando dinero dentro de la segunda parte de la vida de la lámpara. La compra de las lámparas fluorescentes compactas se puede realizar en varios pagos donde cada pago se cargaría directamente al recibo de la luz lo cual ayudaría a ser más accesible su adquisición.

Por otro lado si al gobierno no le conviene subsidiar las lámparas fluorescentes

²¹ Guide to fluorescent lamps, Philips lighting.

compactas para usuarios con bajos consumos (menores o iguales a 100 kWh/mes) o de aquellas que permanecen poco tiempo en operación, una alternativa para estos usuarios sería la utilización de lámparas incandescentes con gas inerte (gas criptón). Estas lámparas se comercializan en los Estados Unidos al mismo precio que las lámparas estándar (el equivalente a N\$1.75). Aunque se desconoce el precio con el que entrarían en el mercado nacional se piensa que éste no puede variar demasiado, por lo que consideramos posible el reemplazó total de las incandescentes en las potencias de 60, 75 y 100 W en donde no sea posible el uso de las lámparas fluorescentes compactas. Comercializandose en México todavía las lámparas incandescentes estándar de 25 y 40 W, las cuales únicamente representan el 9% de las ventas totales de lámparas incadescentes estándar de potencias entre 25 y 100 watts (véase gráfica 4.1.2). Esto es como consecuencia de que no existe en el mercado lámpara de gas inerte sustituto de 25 W y a que la lámpara con gas inerte sustituto de la de 40 W presenta una disminución en su flujo luminoso de 16.32% en comparación con la incandescente estándar, además, su uso nos llevaría a introducir en el mercado un producto menos eficiente.

ANEXO A.

Anexo A. Temperatura de color y reproducción cromática.

La luz blanca del día está compuesta por un conjunto de radiaciones electromagnéticas con diferentes longitudes de onda dentro de la zona visible de 380 a 780 nanómetros (nm), que contiene los colores fundamentales cuyos límites aproximados de radiación pueden verse en la figura A-1.

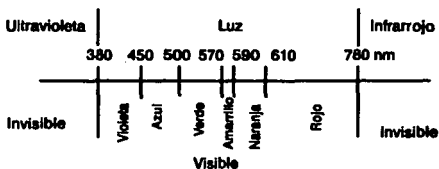


Figura A-1. Límites aproximados de radiación de los diferentes colores del espectro visible.

Comúnmente, el color suele emplearse para señalar una propiedad de los cuerpos, y así decimos que un cuerpo tiene un determinado color, pero esto no es cierto, pues

el color como tal no existe ni se produce en ellos. Los cuerpos sólo tienen unas determinadas propiedades de reflejar, transmitir o absorber los colores de la luz que reciben.

La impresión del color de un cuerpo depende por lo tanto de la composición espectral de la luz con que se ilumina y de las propiedades que posea de reflejarla, transmitirla o absorberla.

Los colores del espectro visible, así como todos los que resultan de la mezcla de distintos colores, se pueden representar matemáticamente por medio del diagrama de colores o triángulo cromático (figura A-2), aprobado por la Comisión Internacional de Iluminación ("Commission Internationale de l'Eclairage CIE"), el cual se emplea al tratar del color de las fuentes de luz y otros materiales tales como filtros luminosos, pinturas, etc.

En el diagrama cromático CIE todos los colores están ordenados respecto a los valores de tres coordenadas cromáticas x, y, z para cada uno de ellos, cumpliéndose la igualdad: $x + y + z = 1$. De esta forma, dos coordenadas cualesquiera son suficientes para determinar el punto representativo o lugar geométrico de un color o mezcla de colores.

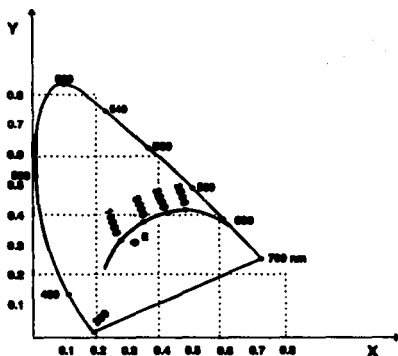


Figura A-2. Triángulo cromático CIE.

Forma el diagrama una parte curva que es el lugar geométrico de las radiaciones monocromáticas, cerrándose por una línea recta llamada línea de púrpura. En la zona intermedia se encuentra un punto negro para el cual los valores x, y, z son iguales entre sí (0.333 cada uno). A lo largo de la trayectoria del diagrama de las radiaciones monocromáticas se han señalado algunas longitudes de onda. Todos los demás colores se encuentran entre el punto negro y la curva que forma el triángulo. Las rectas que parten del punto negro contienen colores del mismo tono en saturación decreciente, esto es, cada vez con menos contenido en blanco.

A1. Temperatura de color T_c y temperatura de color similar T_s .

Como hemos visto conociendo las coordenadas cromáticas x, y , se puede fijar la posición de cualquier color en el diagrama cromático.

En la práctica, el color de luz de una fuente luminosa – para aquellas que no tengan un color señalado – se da a conocer por su temperatura de color T_c expresada en grados Kelvin (K), como una temperatura absoluta, lo cual resulta más fácil y que, para ello, basta con emplear sólo un número.

La temperatura de la escala kelvin exceden en 273°C a las correspondientes de la escala centígrada.

La temperatura de color de una fuente de luz corresponde por comparación a aquella con la que el cuerpo negro presenta el mismo color que la fuente analizada.

El cuerpo negro es un radiador ideal que, teóricamente, radia toda la energía que recibe, cambiando de color al variar su temperatura absoluta.

En el triángulo cromático del CIE de la figura A-2 se ha representado también la curva de temperatura de color del cuerpo negro.

Las lámparas incandescentes tienen una temperatura de color comprendida entre los 2700 y 3200 K, según el tipo, por lo que su punto de color determinado por las coordenadas correspondientes queda situado prácticamente sobre la curva del cuerpo negro. Esta temperatura no tiene relación alguna con la del filamento incandescente.

Los puntos de color de la mayoría de las lámparas, principalmente las de descarga, no coinciden con las del cuerpo negro, por lo que no se puede establecer una igualdad absoluta de sus colores de luz con los representados por dicha curva. En estos casos se da como valor aquella temperatura del cuerpo negro más parecida a la de color de luz analizado, denominada temperatura de color similar T_s .

A2. Reproducción cromática. Índices general R_g y especial R_e .

El dato de temperatura de color similar se refiere únicamente al color de la luz, pero no a su composición espectral que resulta decisiva para la reproducción de los colores. Así, dos fuentes de luz pueden tener un color muy parecido y poseer al mismo tiempo unas propiedades de reproducción cromática muy diferentes.

El concepto de reproducción cromática de una fuente luminosa se define como el aspecto cromático que presentan los cuerpos iluminados con ésta en comparación con los que presentan bajo una luz de referencia.

La determinación de las propiedades de reproducción cromática de las fuentes luminosas se realiza según un procedimiento aprobado por la CIE que consiste en iluminar un color de muestra establecido con la luz de referencia y con la luz que se analiza. La evaluación cuantitativa de desplazamiento de color que se produzca representa el índice de reproducción cromática que puede alcanzar un valor máximo de 100 tomado para la luz de referencia.

El índice de reproducción cromática puede ser general R_a ó R_g como promedio de desplazamiento para un conjunto de ocho colores de muestra, o especial R_e para un sólo color de un conjunto de catorce que se indican en la tabla A-1.

Según la luz de referencia que se tome, puede ocurrir que al iluminar indistintamente un objeto con luces de igual o muy parecido índice general de reproducción cromática R_g , presente diferente aspecto. Ello se debe a que, no obstante tener ambas luces el mismo índice general de reproducción cromática, sus distribuciones espectrales son diferentes. De ahí que para determinar las propiedades cromáticas de una fuente de luz, además del valor R_g se necesita conocer también su temperatura de color.

TABLA A-1. Colores de muestra según CIE para determinar los índices de reproducción cromática general Rg (colores 1 a 8) y especial Re (colores 1 a 14).

Color CIE No.	Aspecto a la luz del día
1	Rosa pálido
2	Amarillo mostaza
3	Amarillo verdoso
4	Verde
5	Azul claro
6	Azul celeste
7	Violeta
8	Lila
9	Rojo intenso
10	Amarillo intenso
11	Verde intenso
12	Azul intenso
13	Rosa (color de la piel)
14	Verde clorofila

A3. Efectos psíquicos.

Esta comprobado que el color del medio ambiente produce en el observador reacciones psíquicas o emocionales. Por ello, el emplear los colores de forma adecuada es un tema de mayor interés para los psicólogos, arquitectos,

luminotécnicos y decoradores.

No se pueden establecer reglas fijas para la elección del color apropiado con el fin de conseguir un efecto determinado, pues cada caso requiere ser tratado de una forma particular. Sin embargo, existe una serie de experiencias en las que se ha comprobado las sensaciones que producen en el individuo determinados colores.

Los colores cálidos son los que en el espectro visible van desde el rojo al amarillo verdoso, y los fríos desde el verde al azul.

Un color será más cálido o más frío según sea su tendencia hacia el rojo o hacia el azul respectivamente.

Los colores cálidos son dinámicos, excitantes y producen una sensación de proximidad, mientras que los colores fríos calman y descansan, produciendo una sensación de lejanía.

Asimismo, los colores claros animan y dan sensación de ligereza, mientras que los colores oscuros deprimen y producen sensación de pesadez.

ANEXO B.

Anexo B. Ventajas y desventajas de los balastos electrónicos y electromagnéticos.

Antes de mencionar las ventajas y desventajas de los balastos valdría la pena contestar la siguiente pregunta, ¿son en realidad necesarios?, la respuesta es afirmativa sin duda. En la figura B-1-a se observa una gráfica de la característica de operación de una resistencia, que bien podría ser un foco incandescente. Puede observarse que la característica de esta curva indica que para que la corriente aumente del valor "a'" al valor "b'" es necesario aumentar la tensión del valor "a" al "b", es decir, debemos incrementar el voltaje para que aumente la corriente.

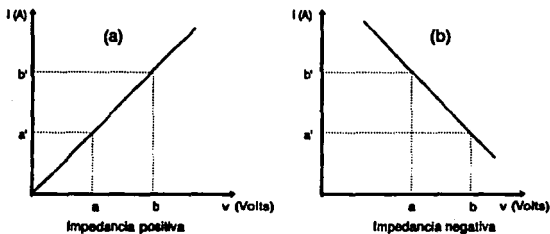


Figura B-1. Características de impedancia.

Quando este tipo de carga (resistencia o foco incandescente) se conecta a través de una fuente de alimentación resulta ser una carga autorregulada es decir, existe un punto de operación estable en el que circulará determinada corriente para una tensión aplicada.

Veamos ahora otro tipo de situación ilustrada en la figura B-1-b. Puede apreciarse que la recta es opuesta a la anterior; ahora, cuando la corriente aumenta la tensión disminuye. Del punto "a" al punto "b" la corriente ha aumentado mientras que la tensión ha disminuido del punto "b" al punto "a". A este fenómeno se le conoce como "Característica de Impedancia Negativa". Como es de suponer, al de la figura B-1-a se le conoce como "Característica de Impedancia Positiva".

Si a una carga de impedancia negativa se conectara a una fuente de tensión, la corriente tendería a adquirir inmediatamente un valor infinitamente grande que destruiría a la carga a menos que existiera en el circuito alguna protección que lo abra antes de que la enorme corriente destruya al dispositivo. Las lámparas eléctricas de descarga en gases (por ejemplo las fluorescentes y las H.I.D.) tienen una característica real similar a la de la figura B-1-b y por lo tanto no pueden conectarse a la línea de alimentación como se hace con las lámparas incandescentes. Se requiere un dispositivo que regule la corriente que circula a través de las lámparas y este dispositivo regulador de corriente se conoce como BALASTRO.

B1. Balastos electrónicos:

Las lámparas con balastro electrónico, por lo general, tienen bajo factor de potencia entre 0.5 y 0.7 casi siempre en adelanto.

Debido a que el balastro electrónico y la lámpara fluorescente compacta se encuentran sellados, formando una sola unidad, no es factible la sustitución de cualquiera de los dos elementos, por lo que, al dejar de funcionar uno de los dos elementos se tienen que desechar ambos. Esto representa un desperdicio, debido a que los balastos llegan a durar dos veces más que las lámparas y en algunos casos mucho más.

- Son más eficientes que los electromagnéticos. Los balastos electrónicos logran ahorrar energía de dos maneras: el primero es debido a sus bajas pérdidas internas y el segundo es incrementando la salida de luz, -entre 8 a 12 % más-, debido a la excitación de los fósforos a alta frecuencia (en un rango de 20 a 60 kHz). Si el período de la frecuencia de excitación es pequeña el gas dentro de la lámpara estaría ionizándose y desionizándose constantemente produciendo luz continuamente.
- Parpadeo de la luz (120 veces por segundo), es eliminado cuando el balastro electrónico de alta frecuencia es utilizado en vez del convencional

electromagnético de 60 Hz.

- Tienen un precio mucho mayor a los electromagnéticos.

- Producen interferencia, la cual es más acentuada que la de los balastos electromagnéticos, debido a la alta frecuencia a la que funcionan por lo que pueden afectar el funcionamiento de computadoras u otros equipos basados en microprocesadores²².

- Arranque rápido 750 milisegundos.

- La mayoría de las lámparas con balastro electrónico presentan una distorsión total de armónicas (usualmente de corriente) de aproximadamente 100%²³. Por otra parte se considera que un buen balastro electrónico debe tener una distorsión total de armónicas comprendido entre el 8 y 12%²⁴.

²² La interferencia provocada por los balastos se puede eliminar utilizando filtros.

²³ Robert J. Gilleskie, A summary of findings on the electrical characteristics of compact fluorescent lamps, Prepared for the California Compact Fluorescent Meeting, february 4, 1991.

²⁴ ATPAE, Nuevas perspectivas en el ahorro de energía mediante alumbrado fluorescente, Ing. Ernesto J. Mendoza Estrada, Asociación de técnicos y profesionistas en aplicación energética, A.C., México D.F., noviembre de 1992, pp 125-130

B2. Balastos electromagnéticos:

- **Existen balastos electromagnéticos con alto factor de potencia (0.9 o mayor).**
- **Es posible la adquisición por separado de la lámpara y el balastro.**
- **Tienen mayores pérdidas internas que los balastos electrónicos, generadas principalmente por una mayor disipación de la energía en calor.**
- **Parpadeo de la luz (120 veces por segundo) debido a que el balastro electromagnético funciona a 60 Hz.**
- **Su precio es mucho menor que el de los electrónicos.**
- **Producen interferencia la cual queda circunscrita generalmente a la banda de radiotransmisión de AM; sus efectos también pueden presentarse de manera menos pronunciada en aparatos de televisión o cualquier aparato electrónico.**
- **Arranque por precalentamiento de 1 a 2 segundos.**
- **La mayor parte de los balastos electromagnéticos toman una distorsión total**

de armónicas (usualmente de corriente) en un rango de 10-20%²³.

B2. Algunos de los efectos producidos por un bajo factor de potencia y por alta distorsión de armónicas son los siguientes:

B2.1 Factor de potencia.

Cuando el factor de potencia es diferente de 1 ó 100%, sólo una parte de la potencia aparente se traduce realmente en potencia útil. Queda todavía otra parte de potencia aparente que no es aprovechada por el receptor y a la que se denomina potencia reactiva, esta es necesaria a los balastros y transformadores para realizar su función.

Sin embargo incrementar la cantidad de potencia aparente equivale a aumentar el producto de corriente y voltaje, usualmente este incremento se realiza debido a un aumento de corriente lo cual provoca calentamientos en las líneas de distribución y transmisión. Cuanto mayor sea la potencia aparente mayor será la corriente requerida para dar la cantidad de potencia real.

Además de las grandes pérdidas de calor en las líneas de transmisión, redes de distribución y transformadores; distribuidores y consumidores son afectadas por una

pobre regulación de voltaje debido a un bajo factor de potencia. Debido a esto se penaliza a consumidores industriales y comerciales que tengan un bajo factor de potencia generalmente menor al 90 %.

B2.2 Distorsión de armónicas.

La energía eléctrica es entregada típicamente para su uso final en forma de una onda senoidal con una frecuencia de 60 ciclos por segundo. Cuando la energía eléctrica es usada, -sobre todo en aparatos electrónicos-, la forma de onda de 60 hz es distorsionada de manera tal que se crean múltiplos de la onda fundamental a 120 Hz (2da. armónica), 180 Hz (3era armónica), 240 Hz (4ta. armónica), y así sucesivamente.

Debido a la presencia de armónicas puede ocurrir un sobrecalentamiento en las líneas de distribución o transformadores. Las líneas de distribución cuentan con un neutro que bajo condiciones de equilibrio no lleva corriente o en muchos casos esta es de tamaño considerablemente menor en comparación con la que llevan los alambres de fase. Si hay 3, 9, 15 u otras triples armónicas presentes, estas causaran grandes corrientes que querrán fluir a tierra a través del neutro causando niveles de sobrecalentamiento apreciables. Similarmente si hay una cantidad significativa de alguna armónica presente.

Otro efecto de las armónicas es la tendencia a dar incorrectas lecturas en los medidores inductivos sobre los kilowatt-hora consumidos.

Las armónicas también tienen influencia en el equipo. Los relevadores y mecanismos de conmutación operan impropriamente, puede ser que operen demasiado rápido, demasiado lento o que respondan a señales incorrectas.

Los bancos de capacitores pueden fallar bajo ciertas condiciones de frecuencia de resonancia de los armónicos.

Generalmente la distorsión total de armónicos se divide en tres categorías:

- 1) Baja distorsión, $THD < 20\%$.
- 2) Mediana distorsión, $20\% \leq THD \leq 40\%$.
- 3) Alta distorsión, $THD > 40\%$.

En los Estados Unidos estos problemas, que presentan la mayoría de los balastos electrónicos, se han solucionado gracias al nuevo balastro electrónico que utiliza el circuito integrado 6056 llamado el circuito integrado inteligente. Con el cual se obtiene un alto factor de potencia (0.995) y un 10% en la distorsión de armónicas.

ANEXO C.

Anexo C. Evaluación económica.

Las fórmulas utilizadas en la evaluación económica son las siguientes:

$$F = P(1+i)^n \quad (\text{ecuación C-1})$$

La expresión $(1+i)^n$, llamada factor cantidad compuesta pago único (FCCPU), dará la cantidad futura F de una inversión inicial P después de n años a una tasa de interés i.

Despejando de la ecuación anterior en términos de F resulta la expresión:

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (\text{ecuación C-2})$$

La expresión $1/(1+i)^n$ se conoce como el factor valor-presente pago único (FVPPU). Esta expresión permitirá determinar el valor presente P de una cantidad futura dada F, después de n años a una tasa de interés i.

Período de recuperación. En proyectos de iluminación el período de recuperación se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Período de recuperación} = T = \frac{\text{Diferencia de inversión}}{\text{Ahorro de operación}} \quad (\text{ecuación C-3})$$

El período de recuperación se refiere al tiempo que tarda un inversionista para recuperar, mediante los ingresos que produce el proyecto, la cantidad invertida inicialmente.

$$\text{Tasa de interés efectiva } i = (1 + r/t)^t - 1 \quad (\text{ecuación C-4})$$

donde:

i = tasa de interés efectiva por período.

r = tasa de interés nominal.

t = número de períodos de recuperación

La evaluación para lámparas que permanecen en operación 2.74 hrs/día –equivalente a 1000 horas de operación anual-, se realizó de la siguiente manera:

Al programa entran como variables el consumo mensual del usuario (kWh/mes), el

consumo anual de cada lámpara en kWh, su precio de adquisición y las diferentes tasas de interés que se aplican en la evaluación económica.

Como sabemos Comisión Federal de Electricidad determinó aplicar incrementos mensuales diferentes a los escalones de tarifas energéticas de uso doméstico (ver anexo D). Por lo que para cada uno de los kWh, de los que consume mensualmente el usuario, obtuvimos su valor futuro, empleando para ello su respectiva tarifa y tasa de incremento en la tarifa energética anual que le corresponde.

Después de haber obtenido su valor futuro –para el año uno, sumamos el costo de cada kWh llevado a valor futuro; una vez sumados los multiplicamos por 10% del IVA y lo dividimos entre el consumo total mensual del usuario, determinando de esta manera el valor promedio de un kWh en el año uno.

El precio promedio de un kWh, calculado anteriormente, lo multiplicamos por el consumo anual que tiene cada lámpara, obteniendo así el costo anual de operación de cada lámpara en el año uno, a este costo, para el caso de las lámparas incandescentes, se le adiciona el importe equivalente a la adquisición de una nueva lámpara. El costo anual de operación de cada lámpara lo traemos a valor presente y le sumamos el gasto correspondiente a la adquisición en el año cero de la respectiva lámpara, lo cual nos da el costo total de cada lámpara en el primer año.

El costo total del año siguiente es la suma del costo total del año anterior más los costos de operación que se dan dentro del año analizado, el cual incluye para el caso de las lámparas incandescentes la adquisición anual de una nueva lámpara incandescente, todo esto traído a valor presente.

Debido a que los ahorros no son lineales, en la fórmula utilizada para encontrar el período de recuperación, se tomó como costo de adquisición de la lámpara como aquel que se tiene en el año anterior al año en el cual el costo del ciclo de vida de la LFC comienza a ser menor que el de la lámpara incandescente estándar, con estos dos costos obtenemos la diferencia de inversión, y los ahorros de operación son la diferencia entre estos costos en valor absoluto sumados a la diferencia en valor absoluto de los que se tienen en el año posterior. Por ejemplo, para la lámpara número 3 mostrada en la corrida de la página 114 se puede observar que su período de recuperación ocurre entre el año 7 y 8, de lo dicho anteriormente tenemos que:

$$\begin{aligned}\text{Costo de adquisición de la lámpara incandescente (C.A.L.I.)} &= \text{costo total presentado en el año 7} \\ &= 83.72042\end{aligned}$$

$$\text{Costo de adquisición de la LFC (C.A.LFC)} = \text{costo total presentado en el año 7} = 89.83775$$

por lo que la diferencia de inversión entre la lámpara incandescente estándar y la LFC número 3 es igual a:

$$\text{Diferencia de inversión} = (\text{C.A.LFC}) - (\text{C.A.L.I.})$$

$$\text{Diferencia de inversión} = \text{N}\$ 89.83775 - \text{N}\$ 83.72042 = \text{N}\$ 6.11733$$

Esto es tomando como precio de adquisición de las lámparas como aquel que presentan en el año 7. El ahorro de operación en el año 8 es igual al Costo de Operación de la Lámpara Incandescente Estándar (C.O.L.I.E.) menos el Costo de Operación de la LFC (C.O.LFC) donde:

$$\text{(C.O.L.I.E.)} = \text{Costo total en presentado en el año 8} - \text{costo de adquisición.}$$

$$\text{(C.O.LFC)} = \text{Costo total presentado en el año 8} - \text{costo de adquisición.}$$

$$\text{C.O.L.I.E.} = 92.1555 - 83.72042 = \text{N}\$ 8.43508$$

$$\text{C.O.LFC} = 91.98079 - 89.83775 = \text{N}\$ 2.14304$$

$$\text{Ahorro de operación} = \text{C.O.L.I.E.} - \text{C.O.LFC} = \text{N}\$ 6.29204$$

o lo que es lo mismo:

$$\begin{aligned} \text{Ahorro de operación} &= |(89.83775 - 83.72042)| + |(91.98079 - 92.1555)| \\ &= \text{N}\$ 6.2904 \end{aligned}$$

que es el mismo valor obtenido anteriormente.

Aplicando la ecuación C-3 se tiene:

$$T = \frac{\text{Diferencia de inversión}}{\text{Ahorro de operación}} = \frac{6.11733}{6.29204}$$

$$T = 0.97223 \text{ (años)}$$

Este cálculo sólo nos da la fracción del período de recuperación comprendido entre estos dos años, por lo que, para obtener el período de recuperación total se le debe sumar a esta fracción el año anterior al año en el cual el costo del ciclo de vida de la LFC comienza a ser menor que el de la lámpara incandescente-estándar, en este caso sería el séptimo año. Por lo que el período de recuperación total es:

Período de recuperación total = 7 + .97223 = 7.97223 (años), que es justo el valor obtenido en la corrida.

Para las lámparas que permanecen en operación un promedio de 5.48 hrs/día se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente, variando únicamente las tasas de interés y los períodos analizados en este caso no son anuales sino semestrales.

PROGRAMA PARA REALIZAR LA EVALUACION ECONOMICA DE LAS LFC

```

2   ' inicialización de variables
3   CLS
5   CTO = 0: CTM = 0
8   I = 0: H = 0
9   n = 0: J = 0: P1 = .05665: P2 = .08081: P3 = .10629: P4 = .12341
10  P5 = .13645: P6 = .43346
11  TASA = 0: TARIFA = 0
13  ' entrada datos generales
15  INPUT "¿ TIPO DE LAMPARA ? ", TIPLAMS
20  INPUT "¿ CUANTAS INNOVACIONES SE CALCULARAN ? ", J
40  INPUT "¿ CONSUMO DE ENERGIA DE LA LAMPARA ACTUAL (kWh)? ", CONACTENE
42  INPUT "¿ CONSUMO MENSUAL DE ENERGIA (kWh)?", CONSUMO
43  INPUT "¿ PRECIO ACTUAL DE LA LAMPARA (NS) ? ", CAR
45  INPUT "¿ TASA DE DESCUENTO ? ", TASADES
55  INPUT "¿ TASA DE INCREMENTO EN LA TARIFA ENERGETICA 0-200 kWh ? ", DELCO
56  INPUT "¿ TASA DE INCREMENTO EN LA TARIFA ENERGETICA > 200 kWh ? ", DELCO1
65  INPUT "¿ PERIODO DE CALCULO (AÑOS) ? ", n
70  ' declaración de matrices e inicialización
81  DIM A(6, J, n)
90  DIM PAY(J)
92  FOR K = 1 TO 6
93      FOR M = 0 TO J
94          FOR Q = 1 TO n
95              A(K, M, Q) = 0
96          NEXT Q
97      NEXT M
99  NEXT K
100 ' entrada datos de las mejoras
109 FOR H = 1 TO J
110     INPUT "¿ CONSUMO ENERGETICO DE LA LAMPARA MEJORADA (kWh)? ", A(1, H, 0)
120     INPUT "¿ PRECIO DE LA LAMPARA MEJORADA (NS)? ", A(2, H, 0)
140 NEXT H
195 ' cálculo de variables
450 FOR L = 1 TO J
455     PAY(L) = -1
460     DELOCV = 0
470     CONT = 1
480     CTO = 0
485     CTM = 0: SUMA = 0
500     FOR I = 1 TO n
505         IF CONSUMO <= 25 THEN 508 ELSE 517
508             C1 = CONSUMO * P1 * (1 + DELCO) ^ I
511             SUMA = C1
514             GOTO 760
517             CONS2 = CONSUMO - 25
520             C1 = 25 * P1 * (1 + DELCO) ^ I
522             SUMA = C1
523             IF CONS2 <= 25 THEN 526 ELSE 535

```

```

526      C2 = CONS2 * P2 * (1 + DELCO) ^ I
529      SUMA = SUMA + C2
532      GOTO 760
535      CONS3 = CONS2 - 25
538      C2 = 25 * P2 * (1 + DELCO) ^ I
541      SUMA = SUMA + C2
544      IF CONS3 <= 25 THEN 547 ELSE 556
547      C3 = CONS3 * P3 * (1 + DELCO) ^ I
550      SUMA = SUMA + C3
553      GOTO 760
556      CONS4 = CONS3 - 25
559      C3 = 25 * P3 * (1 + DELCO) ^ I
562      SUMA = SUMA + C3
565      IF CONS4 <= 25 THEN 568 ELSE 577
568      C4 = CONS4 * P4 * (1 + DELCO) ^ I
571      SUMA = SUMA + C4
574      GOTO 760
577      CONS5 = CONS4 - 25
600      C4 = 25 * P4 * (1 + DELCO) ^ I
601      SUMA = SUMA + C4
603      IF CONS5 <= 100 THEN 606 ELSE 615
606      C5 = CONS5 * P5 * (1 + DELCO) ^ I
609      SUMA = SUMA + C5
612      GOTO 760
615      CONS6 = CONS5 - 100
617      C5 = 100 * P5 * (1 + DELCO) ^ I
618      SUMA = SUMA + C5
621      C6 = CONS6 * P6 * (1 + DELCO1) ^ I
624      SUMA = SUMA + C6
760      CO = CONACTENE * SUMA * 1.1 / CONSUMO
765      CM = A(1, L, 0) * SUMA * 1.1 / CONSUMO
766      IF I = 1 THEN 768 ELSE 800
768      TARIFA = SUMA * 1.1 / CONSUMO
800      SPPWF = 1 / (1 + TASADES) ^ I
820      CTO = CTO + SPPWF * (CO + CAR)
830      CTM = CTM + SPPWF * CM
860      CCVA = CAR + CTO
870      A(4, L, I) = A(2, L, 0) + CTM
890      DELCCV = DELOCCV
900      DELOCCV = A(4, L, I) - CCVA
905      IF I = 1 THEN DELOCCV = CAR - A(2, L, 0)
910      IF DELOCCV < 0 AND CONT = 1 THEN 920 ELSE 950
920      CONT = CONT + 1
930      DIFCCV = ABS(DELOCCV) + ABS(DELOCCV)
940      PAY(L) = I - 1 + ABS(DELOCCV) / DIFCCV
950      A(5, 0, I) = CCVA
980      NEXT I
985      NEXT L
1000      ' impresión de resultados
1110      CLS

```

```

1150 PRINT "          DETERMINACION DEL IMPACTO AL CONSUMIDOR"
1170 PRINT " "
1190 PRINT " ", TIPLAMS
1200 PRINT " "
1205 PRINT "CONSUMO MENSUAL DE ENERGIA (kWh/mes) = "; CONSUMO;
1207 PRINT " "
1210 PRINT "TASA DE DESCUENTO = "; TASADES; ; PRINT " TARIFA PROM. (año 1) = ";
1215 PRINT TARIFA; "Ns/kWh "
1220 PRINT " "
1250 PRINT "TASA DE INCREMENTO EN LA TARIFA ENERGETICO 0-200 (kWh) = "; DELCO;
1251 PRINT " "
1255 PRINT "TASA DE INCREMENTO EN LA TARIFA ENERGETICA >200 (kWh) = "; DELCO1;
1260 PRINT " "
1270 PRINT "          ***** RESULTADOS *****"
1280 PRINT " "
1290 PRINT " INNOVACION      PRECIO DE      CONSUMO      PERIODO DE"
1310 PRINT "      ADQUISICION      ANUAL      RECUPERACION"
1330 PRINT "          [N$]          [kWh]          [ANOS]"
1340 PRINT " "
1350 PRINT " SIN", CAR, CONACTENE, " -----"
1370 FOR L = 1 TO J
1390 IF PAY(L) < 0 THEN PRINT L, A(2, L, 0), A(1, L, 0), " N.D." ELSE 1395
1392 GOTO 1400
1395 PRINT L, A(2, L, 0), A(1, L, 0), PAY(L)
1400 NEXT L
1410 INPUT W$
1415 PRINT " "
1420 PRINT "          ***** COSTO DEL CICLO DE VIDA *****"
1440 FOR H = 1 TO n STEP 4
1480 T = H + 1; V = H + 2; W = H + 3
1490 PRINT "          ANOS "
1500 PRINT " INNOVACION ", H, T, V, W
1520 PRINT " SIN", A(5, 0, H), A(5, 0, T), A(5, 0, V), A(5, 0, W)
1530 FOR L = 1 TO J
1540 PRINT L, A(4, L, H), A(4, L, T), A(4, L, V), A(4, L, W)
1560 NEXT L
1560 PRINT " "
1580 INPUT X$
1600 NEXT H
1995 END

```

DETERMINACION DEL IMPACTO AL CONSUMIDOR

Incandescente 75 W

CONSUMO MENSUAL DE ENERGIA (kWh/mes) = 250

TASA DE DESCUENTO = .17 TARIFA PROM. (año 1) = .2123176 NS/kWh

TASA DE INCREMENTO EN LA TARIFA ENERGETICO 0-200 (kWh) = .0706

TASA DE INCREMENTO EN LA TARIFA ENERGETICA >200 (kWh) = .099

***** RESULTADOS *****

INNOVACION	PRECIO DE ADQUISICION (NS)	CONSUMO ANUAL (kWh)	PERIODO DE RECUPERACION (AÑOS)
SIN	1.4	75	-----
1	80.2	18	9.43265
2	119.65	20	N.D.
3	69.35	20	7.972233

***** COSTO DEL CICLO DE VIDA *****

INNOVACION	AÑOS			
	1	2	3	4
SIN	16.20668	29.8463	42.4186	54.01392
1	83.46642	86.49448	89.30204	91.90561
2	123.2794	126.6439	129.7634	132.6562
3	72.97936	76.34386	79.46338	82.35623

INNOVACION	AÑOS			
	5	6	7	8
SIN	64.7142	74.59383	83.72042	92.1555
1	94.32043	96.56055	98.63898	100.5677
2	135.3394	137.8284	140.1378	142.2808
3	85.03936	87.52839	89.83775	91.98079

INNOVACION	AÑOS			
	9	10	11	12
SIN	99.95512	107.1704	113.8479	120.0303
1	102.3578	104.0196	105.5625	106.9952
2	144.2698	146.1162	147.8305	149.4224
3	93.96982	95.81622	97.5305	99.12241

ANEXO D.

Anexo D. Tarifa No. 1 para servicio doméstico.

Acuerdo que autoriza el ajuste de las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica.

Primero. Se autoriza a la Comisión Federal de Electricidad y a las empresas en liquidación denominadas Compañía de Luz y Fuerza de Pachuca, S.A., Compañía Mexicana Meridional de Fuerza, S.A., y las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica conforme a lo dispuesto en el presente acuerdo.

Segundo. Sobre las cuotas de las tarifas para el servicio doméstico (1,1A,1B,1C, y 1D) se aplicará un factor de 1.0057 (uno punto cero cero cinco siete) mensual acumulativo, a excepción de aquéllas consignadas en el resolutivo tercero.

Tercero. Se aplicará un factor de 1.0079 (uno punto cero cero siete nueve) mensual acumulativo a las cuotas para consumos mensuales superiores a: 200 (doscientos) kilowatts-hora en la tarifa 1; 250 (doscientos cincuenta) kilowatts-hora en la tarifa 1A; 300 (trescientos) kilowatts-hora en la tarifa 1B; 750 (setecientos cincuenta) kilowatts-hora en la tarifa 1C; y 1000 (mil) kilowatts-hora en la tarifa 1D.

Tarifa No. 1
Servicio doméstico.

1. Aplicación.

Esta tarifa se aplicará a todos los servicios que destinen la energía para uso exclusivamente doméstico, cualquiera que sea la carga conectada individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

Estos servicios sólo se suministrarán en baja tensión y no deberá aplicárseles ninguna otra tarifa.

Cuotas aplicables mensualmente.

Cargo por energía consumida.

N\$ 0.05665 (cinco centavos seiscientos sesenta y cinco milésimos de centavo), por cada uno de los primeros 25 (veinticinco) kilowatts-hora.

N\$ 0.08081 (ocho centavos ochenta y un milésima de centavo), por cada uno de los siguientes 25 (veinticinco) kilowatts-hora.

N\$ 0.10629 (diez centavos seiscientos veintinueve milésimos de centavo), por cada uno de los siguientes 25 (veinticinco) kilowatts-hora.

N\$ 0.12341 (doce centavos seiscientos veintinueve milésimos de centavo), por cada uno de los siguientes **25** (veinticinco) kilowatts-hora.

N\$ 0.13645 (trece centavos seiscientos cuarenta y cinco milésimos de centavo), por cada uno de los siguientes **100** (cien) kilowatts-hora.

N\$ 0.43346 (cuarenta y tres centavos trescientos cuarenta y seis milésimos de centavo), por cada kilowatt-hora adicional a los anteriores.

Tarifa 1A servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de **25** grados centígrados.

Tarifa 1B servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de **28** grados centígrados.

Tarifa 1C servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de **30** grados centígrados.

Tarifa 1D servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de **31** grados centígrados.

Glosario.

Absorción. Transformación de la energía radiante en otro tipo diferente de energía por interacción con la materia.

Balastro. Es un dispositivo que por medio de inductancias, capacitancias o resistencias, solas o en combinación, limita la corriente de las lámparas al valor requerido para su operación correcta y también, cuando es necesario, suministra la tensión y corriente de arranque, y en el caso de balastros para lámparas de arranque rápido, suministra la tensión para calentamiento de los electrodos.

Bulbo o ampolla. El filamento debe operar en el vacío o en una atmósfera de gas inerte para evitar su rápida desintegración debida a la oxidación, por lo que se le encierra en una envoltura de cristal llamada ampolla o bulbo. Se utilizan varias clases de cristal, dependiendo del tipo de lámpara y sus aplicaciones.

Casquillo. El casquillo es la parte conductora que permite conectar el filamento o electrodos de la lámpara al portalámparas.

Cebador. Dispositivo para encender una lámpara de descarga (especialmente lámparas fluorescentes) que provee el precalentamiento necesario de los electrodos o provoca sobretensión momentánea en combinación con el balastro en serie.

Cuerpo negro. Es un radiador ideal que teóricamente, radia toda la energía que recibe, cambiando de color al variar su temperatura absoluta.

Descarga eléctrica. En un gas, paso de una corriente eléctrica a través de gases o vapores gracias a la producción y el movimiento de partículas ionizadas bajo la influencia de un potencial eléctrico. Esto da como resultado una emisión de radiación electromagnética que tiene un papel esencial en todas las aplicaciones de este fenómeno en el alumbrado.

Deslumbramiento. Estado de visión con molestia o reducción en la capacidad de percibir objetos significativos, o ambas cosas a la vez, debido a una distribución o gama de iluminación impropias, o debido a contrastes extremos en el espacio o en el tiempo.

Deslustre. Quitar al vidrio la transparencia frotándolo con un esmeril o por otro procedimiento.

Disgregación. Separación de las partes de un todo. Dividir una materia en partes muy pequeñas.

Efecto estroboscópico. En todas las fuentes de luz artificiales que funcionan con corriente alterna cesa su emisión luminosa cada vez que la corriente pasa por el

punto cero. Esto tiene lugar dos veces por período, por lo que para una frecuencia de 60 Hz (períodos por segundo) se producirán 120 instantes de oscuridad por segundo. En lámparas de descarga que funcionan con redes de 60 Hz, el ojo no es capaz de apreciar las variaciones tan rápidas de luz que se producen, pero puede darse el caso de que las lámparas iluminen zonas en las que se realicen movimientos rápidos observándose entonces como si estos movimientos se realizaran en forma intermitente incluso como si estuvieran parados. Este fenómeno se conoce con el nombre de efecto estroboscópico. En la actualidad, el efecto estroboscópico rara vez ocasiona problemas en las lámparas fluorescentes pues los fósforos modernos tienen períodos de continuidad relativamente largos.

Eficacia luminosa. La eficacia luminosa de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. La eficacia luminosa se representa por la letra griega ETA (η) –aunque como se menciono anteriormente su símbolo según la norma nacional mexicana es K y no η –, y sus unidades son lúmenes por watt (lm/W):

$$\eta = \frac{\phi \text{ [lm]}}{W \text{ [watt]}}$$

Electrodo. Cada uno de los dos polos de una pila eléctrica, acumulador, tubo de descarga, etc., entre los cuales se establece una corriente eléctrica a través de un fluido o combinación de cuerpos sólidos; se llama ánodo al electrodo positivo, y

cátodo al negativo. Los electrodos están hechos generalmente de alambre de tungsteno, bien enrollados en helicoide o con estructura de panel, dependiendo del tipo de lámpara. El electrodo está conectado al casquillo de la lámpara a través del vidrio en forma sellada y hermética.

Enrarecer. Dilatar un cuerpo gaseoso haciéndolo más denso.

Evaporación. Lenta transformación de un líquido en vapor.

Filamento. Hilo metálico conductor que se pone incandescente al pasar la corriente, en una lámpara el filamento es el elemento productor de luz. En las lámparas modernas el filamento es de tungsteno; éste tiene un alto punto de fusión y un ritmo lento de evaporación, lo que le permite alcanzar temperaturas de funcionamiento más altas.

Flujo luminoso. La energía radiante de una fuente de luz que produce una sensación luminosa se le llama Flujo Luminoso. El flujo luminoso se representa por la letra griega ϕ y su unidad es el LUMEN (lm). Un lumen es el flujo luminoso de la radiación monocromática que se caracteriza por una frecuencia f de valor 540×10^{12} Hertz y por un flujo de energía radiante igual equivalente a 1/683 watts. Un watt de energía radiante de longitud de onda de 555 nm en el aire equivale a 683 lm aproximadamente.

Flujo luminoso nominal. Es el flujo luminoso marcado en la lámpara o declarado por el fabricante expresado en lúmenes (lm).

Fluorescencia. Es la propiedad que tienen ciertos cuerpos de transformar la luz que reciben en radiaciones de mayor longitud de onda.

Gas. Materia en estado gaseoso, un gas puede ser simple o compuesto por varios elementos; los elementos químicos gaseosos son: argón, cloro, criptón, flúor, helio, neón, nitrógeno, oxígeno, radón y xenón.

Gases nobles. Los gases nobles son llamados también gases inertes o raros. Se trata de 6 elementos helio, neón, argón, criptón, xenón y radón. Todos en estado gaseoso; los 5 primeros se encuentran en proporción más o menos elevada en la atmósfera terrestre, mientras que el último es un producto de la desintegración radioactiva. Se emplea como gas de protección cuando se necesita una inercia especialmente elevada, por ejemplo, en las lámparas eléctricas donde reduce la evaporación del filamento de tungsteno. La inercia química de estos gases se debe a la especial estabilidad de sus niveles electrónicos periféricos con excepción del helio, que posee dos electrones, en los otros gases se observa siempre la presencia de un octeto de electrones externos, al cual es mucho más difícil quitar o añadir electrones.

Halógeno. Se aplica a los no metales que forman sales haloideas.

Halogenuros. Son aquellos elementos del grupo de los halógenos, flúor, cloro, bromo, yodo y éstato, se combinan fácilmente con los metales para formar sales.

Iluminación. Aplicación de la radiación visible a un objeto.

Incandescencia. Emisión de radiación visible debida a excitación térmica.

Índice de reproducción cromática o índice de rendimiento en color (Ra). Medida del grado en el cual los colores de objetos iluminados por un determinado iluminante se aproximan a los colores de los mismos objetos iluminados por un iluminante patrón en condiciones especificadas.

Inerte. Es la sustancia que permanece inactiva en una combinación de ingredientes.

Interés. La manifestación del dinero en el tiempo se llama interés y constituye una medida del incremento entre la suma original ya sea tomada en préstamo o invertida y el monto final pagado o acumulado.

Ión. Átomo o partícula que, al perder o ganar uno o más electrones, adquiere una carga eléctrica.

Ionizar. Disociar una molécula en iones o convertir un átomo o molécula en ion.

Lámpara. Fuente hecha para producir luz.

Lámpara incandescente. Lámpara que produce luz mediante un cuerpo calentado a incandescencia por el paso de una corriente eléctrica.

Lámpara incandescente de filamento metálico (foco). Es el dispositivo hermético de cristal, al vacío o lleno de gas inerte, dentro del cual se produce energía luminosa mediante un filamento calentado hasta la incandescencia por el paso de una corriente eléctrica.

Lámpara fluorescente. Lámpara de descarga eléctrica en vapor de mercurio a baja presión, en la cual la emisión principal de luz proviene de un recubrimiento de material fluorescente, dicho material es excitado por la radiación ultravioleta de la descarga.

Lámparas de cátodo caliente. Son lámparas de descarga eléctrica en las que los electrodos operan a temperaturas de incandescencia y en las que la caída de tensión catódica es relativamente pequeña (10 a 20 volts). La corriente en el cátodo es relativamente alta, pudiendo diseñarse lámparas para manejar cualquier corriente deseada hasta varios amperes. La energía necesaria para mantener los cátodos a la

incandescencia puede provenir ya sea del arco (calentamiento por medio del arco), de elementos del circuito, o ambos.

Lámparas de cátodo frío. Son lámparas de descarga en las que los electrodos que operan a temperaturas menores que la de incandescencia, suministran una corriente de electrones por emisión de campo, siendo la caída de tensión catódica relativamente alta (75 a 150 volts). La corriente en el los electrodos es relativamente baja, por lo que, éstos son demasiado grandes y por lo tanto imprácticos cuando se desea que operen con corriente de más de unos cuantos cientos de miliamperes.

Lámpara de arranque por precalentamiento (AP). Es la lámpara que tiene electrodos de alta resistencia los cuales deben ser precalentados por medio de un dispositivo de arranque, que puede ser de operación manual o automática.

Lámpara de arranque rápido (AR). Es la lámpara que tiene electrodos de baja resistencia, los cuales son calentados antes y durante la operación, por fuentes alimentadoras de baja tensión.

Lámpara de arranque instantáneo (AI). Es la lámpara que no requiere precalentamiento de los electrodos para el arranque; el calentamiento de los electrodos es a partir del arranque y se efectúa por la misma corriente de descarga.

Longitud de onda (λ). Es la distancia, en el sentido de la propagación de una onda periódica, entre dos puntos sucesivos, en los cuales la fase es la misma (en el mismo instante). Unidad: metro.

Luz. Cualquier radiación capaz de causar sensaciones visuales directamente (p.e., radiación visible).

Período de recuperación. Es el tiempo que tarda un inversionista para recuperar, mediante los ingresos que produce el proyecto, la cantidad invertida inicialmente, sin considerar el valor del dinero en el tiempo.

Potencia nominal.- Es la potencia marcada en la lámpara expresada en watts (W).

Radiación: 1.- Emisión o transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas. 2.- Las ondas electromagnéticas mismas, o partículas.

Radiación ultravioleta. Radiación en la cual las longitudes de onda de los componentes monocromáticos son menores que las de la radiación visible y superiores a 1 nanómetro.

Radiación visible. Cualquier radiación capaz de causar sensaciones visuales

directamente.

Reflexión. Devolución de radiación por una superficie sin cambio de frecuencia de los componentes monocromáticos que la integran.

Transmisión. Paso de radiación a través de un medio sin cambio de frecuencia de los componentes monocromáticos que la integran.

Rendimiento en color. Expresión general para el efecto de un iluminante sobre la apariencia de color de los objetos, cuando es ésta se compara cociente o inconscientemente con la de un iluminante patrón. Las propiedades de una lámpara para los efectos de la reproducción de los colores, se valoran mediante un índice de reproducción cromática.

Sílice. Dióxido de silicio natural, hidratado o no, muchas veces con impurezas diversas que le dan distintas coloraciones, que abunda en la naturaleza en forma de cuarzo, arena, pedernal, etc.

Tasa de interés. Cuando el interés se expresa como un porcentaje de la cantidad original por unidad de tiempo, el resultado es una tasa de interés.

Tasa de descuento. La tasa de interés utilizada en cálculos de valor presente se

llama a veces tasa de descuento, especialmente en instituciones financieras.

Temperatura de color. La temperatura de color es una medida que nos da una idea del color de la luz. La temperatura de color se puede definir como el grado de blancura de una fuente luminosa. Se mide en grados Kelvin (K); o sea una escala absoluta de temperatura, en centígrados, en la cual el cero corresponde a 273°C bajo el punto de congelación del agua. En los laboratorios se mide la temperatura comparando el color de una fuente de luz patrón con el de una lámpara calibrada regular.

Temperatura de color similar. Los puntos de color de la mayoría de las lámparas, principalmente las de descarga, no coinciden con las del cuerpo negro, por lo que no se puede establecer una igualdad absoluta de sus colores de luz con los representados por dicha curva. En estos casos se da como valor aquella temperatura del cuerpo negro más parecida a la de color de luz analizado, denominada temperatura de color similar T_s .

Vida.- Es el número de horas que opera una lámpara hasta extinguirse o hasta dejar de cumplir requisitos de funcionamiento.

Vida nominal.- Es el tiempo de duración declarado por el fabricante expresado en horas.

Volatilización. Transformar un cuerpo sólido o líquido en vapor o gas.

Bibliografía.

- A.B. Lovins y R. Sardinsky, et. al., Lighting Report, Competitek, vol. 1, march, 1988.

- Blank Leland y Tarquin Anthony, Ingeniería económica, México, McGraw-Hill, segunda edición, agosto de 1986.

- Comisión Federal de Electricidad, Curvas de carga en 1987 del sistema interconectado nacional, Subdirección de Construcción, Gerencia de Estudios, México, 1988.

- Comisión Federal de Electricidad, Desarrollo del mercado eléctrico 1985-2001, México, 30a. edición, 1992.

- Comisión Federal de Electricidad, Estadísticas del Sector Eléctrico 1978-1990, México, 1990.

- Comisión Federal de Electricidad, Subdirección de Programación: Programa de obras e inversiones del sector eléctrico 1989-1998, México, Edición 90-11-01.

- Dirección general de normas, Departamento de normalización mecánica, Norma oficial de calidad para lámparas incandescentes de filamento metálico para alumbrado general DGN-J-19-1971, México D.F. a 27 de octubre de 1971.
- Dept. of Energy, Energy management and good lighting practice-London, No. 12, 1982.
- Dorleijn and A.G. Jack, 1985, Power balances for some fluorescent lamps, Journal of IES.
- E. Kaufman Jonh and Jack F. Christensen, IES Lighting handbook, Published by Illuminating Engineering Society of North America, 1984.
- FIDE, Energía racional, FIDE, número 3, abril de 1992.
- Friedman R., El Sector Eléctrico Residencial Mexicano: Principales Usos Finales y Potencial de Ahorro, Memoria XII Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía y Exposición de equipos y servicios, ATPAE, 1991, pp. 25-27.
- García Romero Carlos y Alex G. Ramírez Rivero, Opciones para el ahorro de energía en instalaciones existentes de alumbrado fluorescente, México, FIDE,

mayo de 1992.

- INEGI, Encuesta Industrial Mensual, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, enero de 1991 a noviembre de 1992.
- Instituto Nacional del Consumidor, Variación de precios de focos y lámparas para iluminación doméstica en el D.F., septiembre de 1992.
- Mansera Omar, et. al., Consumo residencial de energía para iluminación en el sector residencial mexicano, en primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano, México, UNAM, 1991.
- Motorola, Electronic Ballast Fundamentals, February, 1991.
- Nadel Steven, Howard Geller, et. al., Lamp efficiency standards for Massachusetts: Analysis and recommendations, Prepared for: Massachusetts Executive Office of Energy Resources Boston, United States, June, 1989.

Norma Oficial Mexicana, Sistema general de unidades de medida del sistema internacional de medidas (SI), NOM-Z-1-1981, Secretaría de patrimonio y fomento industrial dirección general de normas, México D.F., 1981.

- Osram, Manual de alumbrado, España, Editorial Dossat, 1983.
- Philips, Lighting lamp specification and application Guide, A Division of North America Philips Corporation, 1991.
- Philips, Manual de alumbrado, España, editorial torroba, 1976.
- Philips, Phosphors based on rare-earths. a new era in fluorescent lighting, Lighting division, 1987.
- Robert J. Gilleskie, A summary of findings on the electrical characteristics of compact fluorescent lamps, prepared for the California Compact Fluorescent Meeting, february 4, 1991.
- Siminovitch Michael, Whiteman Richard and Rubinstein Frances, Planning to use compact fluorescent fixtures, Lighting systems Research Group, Lawrence Berkeley Laboratory.
- Sturrock Walter and K.A. Staley, Light sources of the past and present, United States, General Electric, 1970.
- Sylvania, Color is how you lightit, june, 1988.

- Treviño Gasparí Mateo, Economía energética para el equilibrio ecológico, México D.F., FIDE, 1991.

- Westinghouse, Manual del alumbrado, 1987, Editorial dossat, 3era. edición.

- Wilson Alex and Morrill John, American council for an Energy-Efficient Economy Washington, D.C. and Berkeley, California, second edition, 1991.

Esta bibliografía se complementa con más de 50 catálogos comerciales de diversos fabricantes de lámparas.