

Fabricio Vasco Vera

Efectos del empleo de focos ahorradores

Estudio técnico experimental en instalaciones



Serie Tesis Pregrado 1

Efectos del empleo de focos ahorradores

Estudio técnico experimental en instalaciones

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Área de Ciencia y Tecnología

Facultad de Ingenierías

Carrera de Ingeniería Eléctrica

Efectos del empleo de focos ahorradores

Estudio técnico experimental en instalaciones

Fabricio Vasco Vera



2011

Efectos del empleo de focos ahorradores
Estudio técnico experimental en instalaciones

Fabricio Vasco Vera

Tomo 1

© Universidad Politécnica Salesiana
Av. Turuhuayco 3-69 y Calle Vieja
Casilla: 2074
P.B.X.: (+593 7) 2050000
Fax: (+593 7) 4088958
e-mail: rpublicas@ups.edu.ec
www.ups.edu.ec

Secretaría Técnica de Investigación
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Casilla: 2074
P.B.X.: (+593 7) 2050000
Cuenca-Ecuador

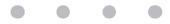
Diseño
diagramación,
e impresión: Editorial Universitaria Abya-Yala
Quito Ecuador

ISBN UPS: 978-9978-10-090-5

ISBN Abya-Yala: 978-9942-09-022-5

Impreso en Quito-Ecuador, diciembre 2011

ÍNDICE



	Pág.
Introducción, objetivo y alcance	9
Introducción.....	9
Objetivos.....	9
Específicos.....	10
Alcance.....	10
Estudio de funcionamiento de los focos ahorradores.....	11
Principio de funcionamiento de los focos ahorradores	12
¿Cómo funciona?.....	13
Análisis de formas de onda generadas por los focos ahorradores.....	13
Comparación entre focos ahorradores y focos incandescentes.....	15
Eficiencia energética de las lámparas fluorescentes compactas.....	16
Estudio lumínico de los focos ahorradores	17
Principales magnitudes utilizadas en luminotecnia.....	18
Intensidad luminosa	18
Método de medición.....	19
Flujo luminoso	20
Método de medición.....	20
Nivel de iluminación.....	21
Ley inversa del cuadrado de la distancia	22
Ley del coseno	22

Efecto electromagnético.....	23
Rendimiento de color	25
Temperatura de color	26
Índice de reproducción cromática.....	27
Curvas fotométricas	29
Normas sobre iluminación.....	31
Niveles de iluminación recomendados.....	31
Análisis de Armónicos y Factor de Potencia.....	33
Estudio de armónicos que los focos ahorradores introducen a la red eléctrica	33
Definiciones.....	33
Calidad de energía eléctrica.....	35
Límites establecidos por el CONELEC.....	36
¿Cómo afectan los armónicos al sistema eléctrico?	38
Efectos de la distorsión armónica	38
Análisis de armónicos para usuarios individuales	40
Límites para distorsión de corriente	41
Efectos de la resonancia serie y paralelo.....	44
Límites de distorsión de voltaje.....	45
Estudio del factor de potencia de los focos ahorradores.....	46
Factor de potencia de desplazamiento	47
Factor de potencia incluyendo el contenido armónico.....	49
Definiciones de potencia para cargas no lineales.....	49
Corrección del factor de potencia.....	51
El factor de potencia en el sector residencial	51
¿Cómo afecta el factor de potencia y la distorsión armónica a las empresas eléctricas?	52

Análisis experimental del funcionamiento de focos ahorradores frente a distintos tipos de cargas	53
Levantamiento de resultados del comportamiento eléctrico de focos ahorradores	53
Resultado de la medición de niveles de iluminación.....	59
Pruebas programadas de % THD de corriente y factor de potencia a lámparas y equipos electrónicos	62
Pruebas de % THD de corriente y factor de potencia a lámparas y equipos electrónicos por 7 días en el TDP	66
Resultado de la medición diaria del % THD voltaje	70
Resultado de la medición del % THDi a los distintos focos ahorradores bajo prueba.....	70
Resultado de la medición del factor de potencia a los distintos focos ahorradores y equipos electrónicos bajo prueba.....	72
Análisis de resultados	74
Relación de potencias entre focos ahorradores y focos incandescentes	74
Comparación entre los datos de placa y los valores medidos de potencia.....	74
Análisis de resultados de las pruebas programadas de % THD de corriente y factor de potencia a focos ahorradores y equipos electrónicos (secuencia 1).....	76
Análisis de resultados de las pruebas programadas de % THD de corriente y factor de potencia a lámparas y equipos electrónicos (secuencia 2).....	77
Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas durante 7 días en una vivienda	80
Resumen de los experimentos realizados los 7 días de la semana	82
Análisis resultados pruebas de la distorsión armónica de voltaje % THD V.....	83
Análisis y resultados de mediciones individuales a focos ahorradores y equipos electrónicos.....	83
Análisis de los resultados de las pruebas de armónicos de corriente % THD A y factor de potencia a los focos ahorradores ...	83

Análisis de los resultados de las pruebas de armónicos de corriente % THD A y factor de potencia a los equipos electrónicos	85
Análisis de resultados de los niveles de iluminación de los focos ahorradores bajo prueba.....	86
Establecimiento de una norma mínima requerida por los focos ahorradores	86
Normativa de la cantidad de iluminación en [LUX]	87
Normativa de la eficiencia de la en [LUX/W].....	89
Normativa factor de potencia	91
Normativa % THD de la corriente	91
Conformidad de los datos de placa descritos por el fabricante	93
Conclusiones	97
Recomendaciones	99
Bibliografía	101

INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y ALCANCE



Introducción

La promoción del uso de focos ahorradores ha incrementado en un alto porcentaje su consumo. No existe un estudio que determine las preferencias de marca o calidad del producto por lo que se registra la venta de una gran variedad de marcas desconocidas e incluso de producto no original. No existe una normativa que regule la venta de focos de calidad certificada. El riesgo del uso de un producto no certificado trae consecuencias negativas, ya que puede generar impactos tanto sobre el mismo producto como en la operación de otros equipos eléctricos y electrónicos; principalmente, por el bajo factor de potencia y por los armónicos que podrían introducir en el sistema eléctrico.

Esta situación podría implicar que, en el país, se empleen focos ahorradores de baja calidad que afecten negativamente al desempeño técnico de otros equipos de los usuarios del servicio eléctrico y también al desempeño técnico del sistema eléctrico de potencia.

Por ello es necesario verificar, mediante un estudio técnico analítico y experimental, cuáles son los efectos técnico adversos que se presentan por el empleo de los focos ahorradores que se comercializan en el país; y, con esta información establecer los requerimientos mínimos de calidad del producto de consumo para evitar una baja prestación de servicio. Esta investigación busca establecer, mediante un estudio técnico experimental, los efectos adversos a la calidad del servicio de distribución de energía eléctrica, que se tendría por el empleo de focos ahorradores de diferentes marcas y procedencias; y sobre esta base, establecer los requerimientos técnicos y constructivos mínimos que deben ser cumplidos por los focos ahorradores para que puedan ser comercializados en el país.

Objetivos

Específicos

- Determinar, mediante un estudio técnico experimental, en qué medida el empleo de focos ahorradores puede afectar o causar algún tipo de daño a los diferentes equipos electrónicos.
- Verificar, por medio de un estudio lumínico, si la cantidad de iluminación de los focos ahorradores es similar a la de los focos tradicionales o su equivalencia.
- Determinar el comportamiento de diferentes tipos de cargas, principalmente electrónicas, cuando funcionan conjuntamente con los focos ahorradores.
- Analizar los armónicos y el factor de potencia que los focos ahorradores introducen a la red eléctrica.
- Establecer los requerimientos técnicos y constructivos mínimos que deben ser cumplidos por los focos ahorradores, para que puedan ser comercializados en el país, sacar conclusiones y recomendaciones.

Alcances

- Estudio experimental del funcionamiento de los focos ahorradores tomando distintas marcas de los mismos.
- Análisis de formas de onda generadas de voltaje y corriente producidas por los focos ahorradores.
- Estudio de armónicos que los focos ahorradores introducen a la red.
- Estudio de funcionamiento de los focos ahorradores frente a distintos tipos de cargas, en especial electrónicas.
- Medición y análisis del factor de potencia de los focos ahorradores.

ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS FOCOS AHORRADORES



El mecanismo de funcionamiento de los focos ahorradores de energía es básicamente el mismo que se usa en los tubos fluorescentes convencionales, que fueron creados para reemplazar a los focos incandescentes convencionales, de ahí viene su diseño y la cantidad de iluminación que producen.

La principal diferencia con los tubos fluorescentes convencionales es la frecuencia de funcionamiento, ya que los focos ahorradores de energía utilizan altas frecuencias por esa razón tienen la presencia de una circuitería electrónica que produce alta frecuencia para el funcionamiento de los mismos, a diferencia de los tubos fluorescentes tradicionales que funcionan con la frecuencia de la red.

En 1976, el ingeniero Edward Hammer, de la empresa norteamericana 14, creó una lámpara fluorescente compuesta por un tubo de vidrio alargado y de reducido diámetro, que dobló en forma de espiral para reducir sus dimensiones. Así construyó una lámpara fluorescente del tamaño aproximado de una bombilla común, cuyas propiedades de iluminación eran muy similares a las de una lámpara incandescente, pero con un consumo mucho menor y, prácticamente, sin disipación de calor al medio ambiente.

Estas lámparas han sido denominadas CFL (*Compact Fluorescent Lamp* que traducida quiere decir Lámpara Fluorescente Compacta)” (García Álvarez, doc. electrónico), sus características físicas se detallan a continuación.

- Dimensiones similares a las de los focos incandescentes convencionales.
- Amplia gama de colores de luz.
- Menor volumen que los tubos fluorescentes rectos.

Principio de funcionamiento de los focos ahorradores

Los focos ahorradores están conformados por cinco partes principales, las cuales se definen a continuación:

- *Casquillos con rosca*: sirve para acoplar al foco ahorrador en la boquilla convencional.
- *Base para balasto*: es un compartimento donde se sujeta el balasto electrónico.
- *Balasto electrónico*. Es una placa electrónica que se compone de un rectificador de onda completa a base de diodos y un oscilador, que eleva la frecuencia entre 20 y 60 khz aproximadamente.
- *Filamentos*: producen el calor necesario para ionizar el gas inerte dentro del tubo fluorescente.
- *Tubo fluorescente*: contiene el gas inerte que da la característica del color de la luz emitida.

La Figura 1. señala las partes del foco ahorrador.



Figura 1. Partes del foco ahorrador

El principio de funcionamiento de una lámpara fluorescente ahorradora de energía CFL es el mismo que el de un tubo fluorescente común, excepto que es mucho más pequeña y manual.

¿Cómo funciona?

- Al encender la lámpara la corriente fluye hacia el balasto electrónico, allí es rectificadora para posteriormente convertirse en corriente DC; a continuación pasa por un circuito oscilador, que en este caso es hecho a base de transistores, una inductancia y un capacitor; la frecuencia que puede alcanzar está entre 20 y 60 kHz, dependiendo del fabricante.
- La elevada frecuencia sirve para eliminar el efecto estroboscópico Cfr. Infra (anexo 2) que se producía en las antiguas lámparas fluorescentes.
- “Cuando los filamentos de la CFL se encienden, producen calor, el mismo que ioniza el gas inerte que se encuentra dentro, y se crea un puente de plasma entre los dos filamentos, por el cual circulan electrones; bajo estas circunstancias, el balasto genera una chispa y se enciende un arco entre los filamentos, entonces los filamentos se apagan y se convierten en electrodos para mantener el arco eléctrico mientras la lámpara permanece encendida; el arco eléctrico no produce la luz, pero es necesario para la producción de luz”(García Álvarez, doc. electrónico).
- “El arco eléctrico sirve para mantener el proceso de ionización del gas inerte. Así los iones desprendidos del gas inerte chocan contra los átomos de vapor de mercurio que también se encuentran en el tubo, de esta manera los átomos de vapor de mercurio se excitan y empiezan a emitir fotones de luz ultravioleta, los mismos que chocan contra las paredes de la lámpara que está recubierta con una capa fluorescente, este choque hace que los átomos de flúor se exciten y produzcan fotones de luz blanca visible por el ojo humano” (ibíd.: doc. electrónico).

Análisis de formas de onda generadas por los focos ahorradores

La forma de onda de la corriente indica si la carga es lineal o no lineal, en el caso de los focos ahorradores la carga es no lineal, razón por la cual para obtener la corriente (rms), y las distintas potencias se utilizará un analizador de calidad de energía Fluke 43B.

Para el siguiente análisis se han tomado distintas muestras de focos ahorradores de los cuales se va a analizar en forma detallada la forma de onda de la corriente, corriente (rms), potencia activa, y se compararán los valores de la placa medidos con los valores de la placa de las lámparas.

En los datos obtenidos tiene que existir una congruencia entre el dato de placa y las mediciones realizadas a los distintos tipos de focos ahorradores, ya que la información de la placa es la que los usuarios residenciales van a tener en cuenta al momento de adquirir la lámpara, puesto que es muy común relacionar la potencia de la lámpara con el nivel de iluminación que se espera de la misma.

El tipo de forma de onda de la corriente de los focos ahorradores y de varios equipos electrónicos genera una distorsión armónica en rangos similares, los mismos que serán analizados con mayor detalle en el capítulo III (Análisis de Armónicos y Factores de Potencia).

No es necesario analizar, detalladamente, las deformaciones en la forma de onda de la corriente que se visualizan en los focos ahorradores, bien es cierto que las deformaciones de la forma de onda afectan de alguna manera al % THD, las mismas pueden hacer que el mismo aumente o disminuya sin tener relación directa.

En equipos electrónicos es importante que la medición de la corriente, voltaje, factor de potencia y las diferentes potencias (activa, reactiva y aparente), sean realizadas con equipos que midan valores (rms) o analizadores de calidad de energía, pues con cargas no lineales se deben aplicar las siguientes fórmulas para encontrar valores para encontrarlos, haciendo muy complejo encontrar los valores (rms) fácilmente.

La fórmula para el cálculo de la potencia activa es la siguiente:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt = \frac{R}{T} \int_0^T i^2 dt \quad (f1)$$

Donde:

P = Potencia activa.

T= periodo.

i = corriente en función del tiempo.

R = resistencia.

La fórmula para el cálculo de la corriente rms es la siguiente:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (f2)$$

Donde:

I_{rms} = Corriente eficaz.

T = periodo.

i = corriente en función del tiempo.

Como se puede observar en las fórmulas para el cálculo de la I_{rms} y la potencia activa es necesario conocer la función de la corriente $I(t)$, pero en el caso de una carga no lineal, como los focos ahorradores, resulta muy complejo, haciendo fundamental realizar la medición con el equipo adecuado.

Comparación entre focos ahorradores y focos incandescentes

Para establecer una comparación entre los focos ahorradores y los incandescentes se han tomado en cuenta varios factores, los mismos que serán estudiados a lo largo de esta investigación, éstos son:

- Cantidad de iluminación.
- Conformidad de los datos de placa con las mediciones realizadas.
- Eficiencia energética.
- Potencia.
- Distorsión armónica total.
- Factor de potencia.

Aunque la cantidad de calor que los focos ahorradores generan no es el objeto del presente estudio, se tiene como dato general que es menos del 80% del calor que los focos incandescentes convencionales.

Para realizar la comparación adecuada de los aspectos técnicos de los focos ahorradores se utilizarán los siguientes equipos:

- Analizador de calidad de energía Fluke 435.
- Analizador de calidad de energía Fluke 43B.
- Luxómetro digital.

Los requerimientos de la etiqueta de los focos ahorradores e incandescentes serán revisados a continuación:

Eficiencia energética de las lámparas fluorescentes compactas

Los focos ahorradores tienen una gran eficiencia, la misma que se encuentra entre los 50 - 70 lm/W, según los datos de placa de algunas lámparas.

Para mejorar la eficiencia energética de las lámparas se requiere una mayor inversión inicial, puesto que hay que cambiar lámparas que cuestan alrededor de USD 0,6, como las incandescentes, por lámparas que cuestan alrededor de USD 2,8, como son las ahorradoras; el beneficio se verá reflejado en que las lámparas ahorradoras consumen aproximadamente 4 veces menos energía que los focos incandescentes tradicionales presentes en una residencia.

La eficiencia de los focos incandescentes convencionales es baja debido que se desperdicia gran cantidad de energía en forma de calor; la Tabla 5 es una comparación entre la eficiencia de los focos ahorradores y los focos incandescentes convencionales.

Potencia de foco ahorrador [W]	Eficiencia [lm/W]
$P \leq 7$	31
$7 < P \leq 10$	35
$10 < P \leq 14$	36
$14 < P \leq 18$	41
$18 < P \leq 22$	45
$P > 22$	45
Potencia del foco incandescente [W]	Eficiencia [lm/W]
60	13,5
100	11

Tabla 1. Eficiencia de los focos ahorradores según la potencia

Fuente: INEN, NORMA 036:2008, *Eficiencia energética lámparas fluorescentes compactas rangos de desempeño energético y etiquetado*. 1era edición: 8.

Basándose en la eficiencia de las lámparas se las ha etiquetado en rangos, desde la A hasta la G, en donde A es la más eficiente; como se puede observar en la Figura 2, los focos ahorradores tienen una clasificación A y los incandescentes una clasificación E, eso quiere decir que el aprovechamiento de la energía de los focos ahorradores es mayor que el de los incandescentes.

Las dos lámparas de la Figura 2 son equivalentes en flujo luminoso; sin embargo, la clasificada A, energéticamente consume aproximadamente un 80% menos de energía, y su vida útil es 10 veces superior, que la incandescente clasificada en E.

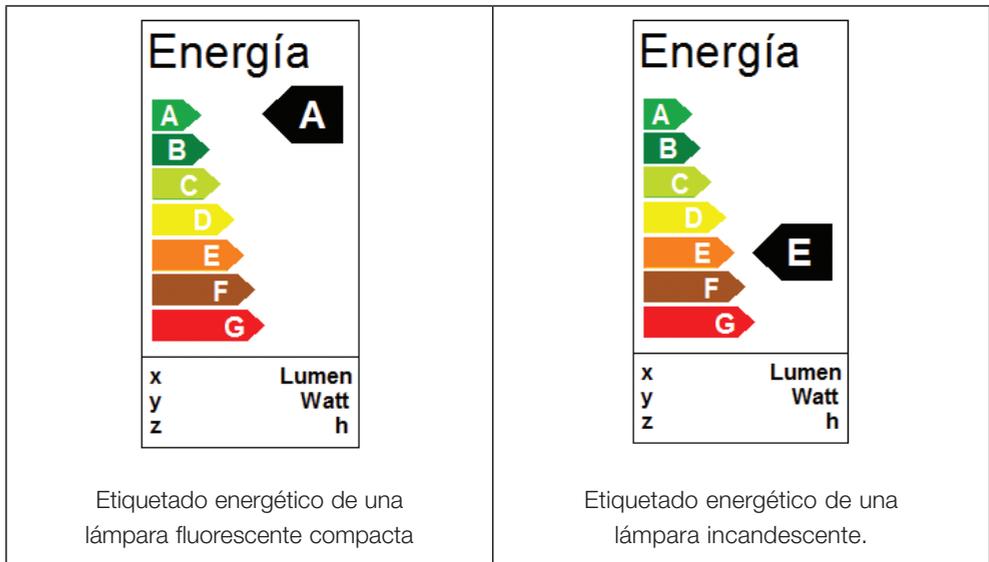


Figura 2. Forma normalizada de la etiqueta foco ahorrador e incandescente

Estudio lumínico de los focos ahorradores

Según la Comisión Internacional de la Iluminación la luz es “La energía radiante que es capaz de excitar la retina del ojo humano y producir una sensación visual” (Sanz Serrano, 2000: 204).

Es decir, la luz es la energía radiante capaz de producir sensaciones visuales. Los parámetros que definen a la radiación luminosa son los siguientes:

- No necesita de un medio natural para su propagación, incluso a través del vacío es posible.
- Dispone de una velocidad de propagación característica de 300.000 km/s.
- Su naturaleza es dual. Ondas sinodales y corpúsculos.
- Las ondas y las características que las definen, como son: longitud de onda, velocidad de propagación, la frecuencia de la radiación y la energía de la radiación.

Principales magnitudes utilizadas en luminotecnia

Al momento de efectuar un estudio luminotécnico adecuado hay que tener en cuenta la definición de una serie de magnitudes que contribuirán en la profundización del estudio, esto nos permitirá comprender de mejor manera los cálculos de los conceptos luminosos respectivos.

Las principales magnitudes empleadas son:

- Intensidad luminosa.
- Flujo luminoso.
- Nivel de Iluminación.

Intensidad luminosa

Definición: “Es la densidad de luz que pasa por un pequeño ángulo sólido, en una dirección determinada” (Rosas, 2000: 289).

Unidad: *Candela*

La candela es la unidad básica de la iluminación, todas las demás unidades son obtenidas a partir de ésta; se puede definir a la candela como: “La cantidad física básica internacional de todas las medidas de luz, una vela de cera común tiene una intensidad luminosa en dirección horizontal aproximadamente de una candela” (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, 1962: 2-4).

La intensidad luminosa es igual a la relación entre el flujo luminosos contenido en un ángulo sólido cualquiera y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereorradianes.

$$F = I x \omega$$

(f) 3.

$$I = \frac{F}{\omega}$$

(f) 4.

Donde:

I = Intensidad luminosa.

F = Flujo luminoso.

ω = Ángulo sólido cualquiera.

En una superficie determinada, la cual va a ser iluminada, hay que considerar los lugares dónde se realiza mayor actividad o una actividad determinada, ya que la intensidad luminosa no se distribuye por igual en el espacio debido a que las fuentes no son puntiformes como indica la Figura 3. La forma más sencilla de hallar la distribución de la luz emitida por una fuente es representar gráficamente dicha distribución mediante las curvas fotométricas.

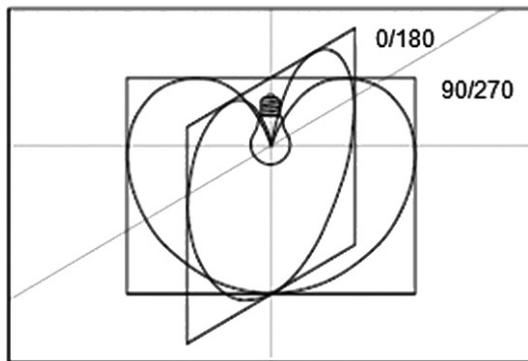


Figura 3. Distribución espacial de la intensidad luminosa de una fuente de luz

El área de este cuerpo de distribución de intensidad luminosa produce la curva de distribución de intensidad luminosa que describe la distribución de intensidad luminosa en un nivel.

La intensidad luminosa se anota con ello normalmente en un sistema de coordenadas polares como función del ángulo de irradiación. Para poder comparar directamente la distribución de la intensidad luminosa de diferentes fuentes de luz, las indicaciones se refieren cada vez a 1000 lm del flujo luminoso” (Hofmann y Ganslandt, 2009: 41).

- Método de medición

Para obtener mediciones precisas de la intensidad luminosa se debe acudir a laboratorios especializados, puesto que para dicho cálculo se requiere de equipos especializados; sin embargo, se pueden realizar cálculos aproximados de la siguiente manera:

Se coloca un luxómetro a una distancia de la lámpara no menor a cinco veces la máxima dimensión de la misma, orientando la célula del luxómetro directamente a la fuente luminosa y multiplicando el valor obtenido por el cuadrado de la distancia expresado en metros.

$$I = E \times D^2$$

(f) 5.

Donde:

I = Intensidad luminosa en candelas.

E = Nivel de iluminación en lux.

D = Distancia de la fuente luminosa a la superficie iluminada en m².

Flujo luminoso

“El flujo luminoso es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo). La unidad de medida es el LUMEN” (Harper Enríquez, 2004: 98).

Un Lumen es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie de 1 metro de una fuente de luz que emite una intensidad luminosa de 1 candela en todas direcciones.

La diferencia entre Lumen y candela es que el primero mide el flujo luminoso sin considerar la dirección.

La siguiente fórmula muestra como calcular a los lúmenes incidentes sobre una superficie.

$$F = E \times S$$

(f) 6.

Donde:

F = Flujo luminoso en lúmenes.

E = Nivel de iluminación en lux.

S = Superficie en m².

- Método de medición

“Se tiene que obtener las lecturas en LUX en varios puntos de la superficie por medio de un luxómetro, de esta manera se obtiene el valor promedio de las mediciones, después se multiplica el valor promedio de las mediciones por la superficie iluminada en m²” (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, 1962: 2-5).

Nivel de iluminación

“Es la densidad de flujo luminoso sobre una superficie” (ibíd.: 2-6).

La iluminación es el principal dato de proyecto para una instalación de alumbrado.

El nivel de iluminación o iluminancia de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área. Se simboliza por la letra E, y su unidad es el lux (lx).

$$E = \frac{F}{S} \quad [LUX]$$

(f) 7.

Donde:

E = Nivel de iluminación en lux (lx).

F = Flujo de la lámpara en lúmenes (lm).

S = Superficie en m².

Un lux es la iluminación en un punto dado sobre un plano a una distancia de un metro en dirección perpendicular, con respecto a una fuente luminosa de una candela.

Para realizar proyectos de iluminación se utilizan las mediciones tomadas por un luxómetro en un punto, o el promedio de las mediciones en un área determinada, para dicho efecto se emplea el método punto por punto, el cual se basa en la ley inversa del cuadrado de la distancia y la ley del coseno.

Los niveles de iluminación son el punto de partida para el cálculo del alumbrado y, según las normas de Electrotecnia y Tecnológicas de la edificación, se encuentran tabulados en función de la tarea a realizar.

La medida del nivel de iluminación se efectúa con el luxómetro. El sensor está calibrado de fábrica con una luz de Tungsteno de 2856°K. Para cualquier variación en la temperatura del color de la lámpara se deberá utilizar la Tabla 2.

Tipo de Fuente luminosa	El valor en pantalla multiplicarlo por:
Lámpara de mercurio	X1.14
Lámpara fluorescente	X1.08
Luz diurna	X1.00
Lámpara de sodio	X1.22
Halógenos	X1.00

Tabla 2. Factor de multiplicación de la variación en la temperatura del color

- Ley inversa del cuadrado de la distancia

Las iluminancias producidas por las fuentes luminosas disminuyen inversamente con el cuadrado de la distancia desde el plano a iluminar a la fuente.

Esta condición se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad [LUX]$$

(f) 8.

Donde:

E = Nivel de iluminación en lux (lx).

I = Intensidad de la fuente en candelas (cd).

d = Es la distancia de la fuente al plano receptor perpendicular.

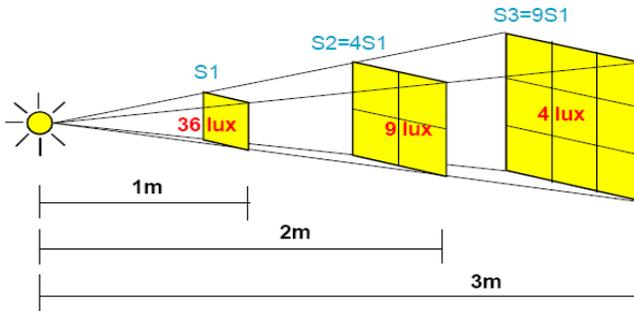


Figura 4. Ley inversa del cuadrado de la distancia (Laszlo, 2010: 53)

“Esta ley se cumple cuando se trata de una fuente puntual de superficies perpendiculares a la dirección del flujo luminoso y cuando la distancia de la lámpara es cinco veces mayor a la dimensión de la lámpara. Para fuentes luminosas lineales, la citada fórmula solo da una aproximación” (Rosas, 2000: 289).

- Ley del coseno

La ley del coseno es utilizada cuando la superficie a iluminar no se encuentra perpendicular a la fuente luminosa, la Ecuación del nivel de iluminación hallada anteriormente hay que multiplicarla por el coseno del ángulo X, que forman la normal a la superficie con la dirección de los rayos luminosos.

La fórmula a aplicar para estas nuevas condiciones es:

$$E = \frac{I}{D^2} \cos X$$

(f) 9.

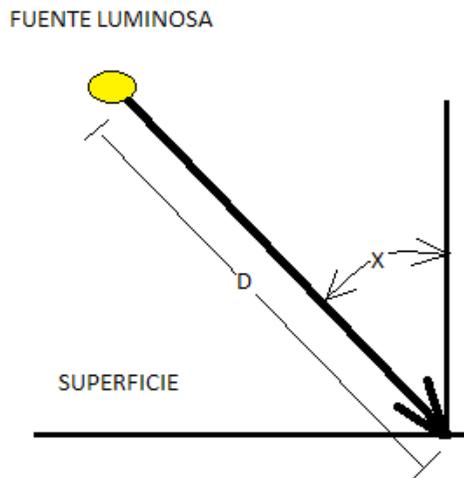


Figura 5. Ley del coseno

Efecto electromagnético

“El universo por doquier se encuentra rodeado por Ondas Electromagnéticas de diversas longitudes. La luz es la porción de este espectro que estimula la retina del ojo humano, permitiendo la percepción de los colores. Esta región de las ondas electromagnéticas se llama Espectro Visible y ocupa una banda muy estrecha de este espectro” (Lazlo, 2010: 3).

Espectro se denomina a la luz separada en sus diversas longitudes de onda.

Para separar la luz se utiliza un prisma transparente, en el cual se pueden observar los espectros formados de colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta, en donde se puede observar que el rojo es la longitud de onda más larga y el violeta es la más corta.

El ojo humano percibe las diferentes longitudes de onda como colores.

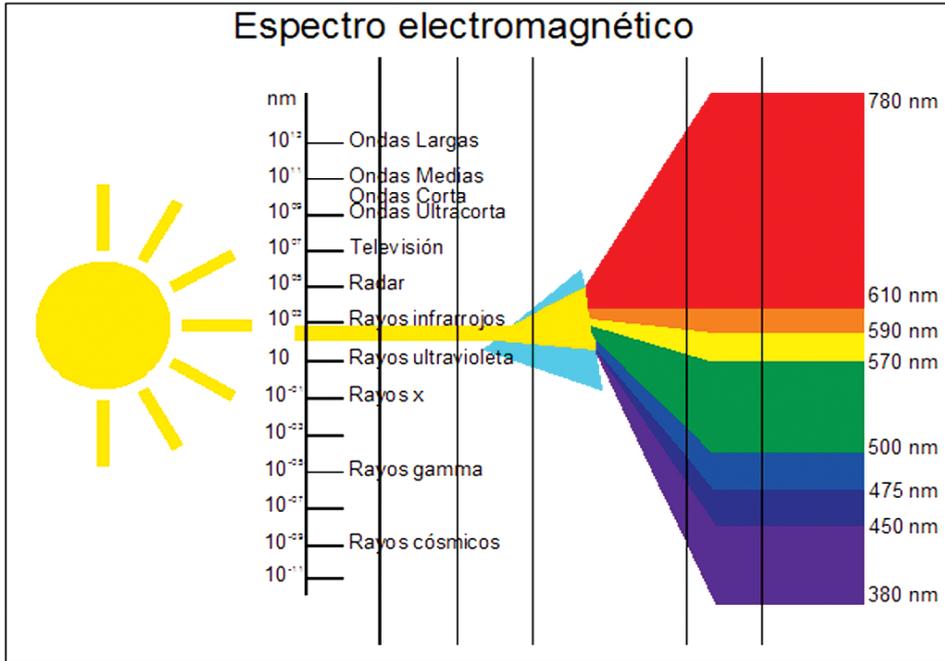


Figura 6. Espectro electromagnético (ibid.: 3)

Las sensaciones luminosas o imágenes que se producen en nuestra retina al enviarlas al cerebro son interpretadas como un conjunto de sensaciones monocromáticas componentes que constituyen el color de la luz.

El sentido de la vista no analiza individualmente cada radiación o sensación cromática. A cada radiación le corresponde una denominación de color, según la clasificación del espectro de frecuencias indicado en la Figura 6.

El ojo humano distingue a los objetos por sus propiedades ópticas, pero ellos no tienen ningún color.

Las propiedades ópticas que tienen los objetos son las de reflejar, refractar y absorber los colores de la luz que reciben.

Por lo tanto el color de determinado objeto depende de la composición espectral de la luz que reciben.

“Fue Newton, el primero en descubrir la descomposición de la luz blanca en el conjunto de colores que forman el arco iris” (Rosas, 2000: 294). Al hacer pasar un haz de luz blanca a través de un prisma obtuvo el efecto que se indica en la Figura 6.

Rendimiento de color

Con los gráficos del espectro electromagnético de las distintas lámparas se puede seleccionar la lámpara adecuada para la iluminación del objeto o la superficie a iluminar.

“Con base en este criterio se clasifican las fuentes de luz artificial. Se dirá que una lámpara tiene un rendimiento cromático óptimo si el IRC está comprendido entre 85 y 100, bueno si está entre 70 y 85 y discreto si lo está entre 50 y 70” (Lazlo, 2010: 9).

En las siguientes gráficas se muestra el rendimiento de color de una lámpara incandescente y de una fluorescente de trifósforo cálida, en donde se puede apreciar que los objetos se verán de diferente color dependiendo de la lámpara, esto se puede ver más adelante con el Índice de Reproducción Cromática IRC.

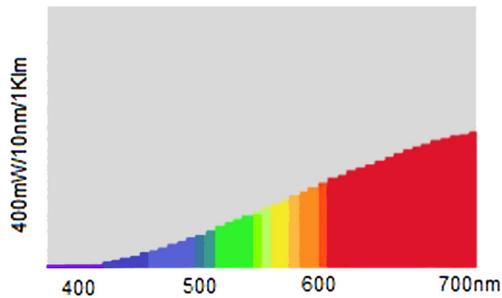


Figura 7. Rendimiento del color de una lámpara incandescente, referido a 1000 Lúmenes (Lazlo, 2010: 9)

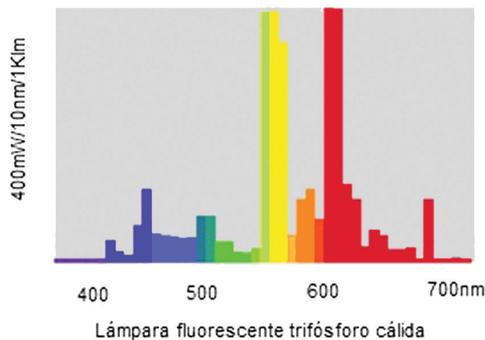


Figura 8. Rendimiento del color de una lámpara fluorescente de trifósforo cálida, referido a 1000 Lúmenes (Laszlo, 2010: 9)

Temperatura de color

“Un cuerpo negro emite una radiación con una longitud de onda determinada, que dependerá de su temperatura” (Rosas, 2000: 295).

Para determinar la temperatura del color de una lámpara se realiza la siguiente prueba de laboratorio:

- Se enciende la lámpara bajo estudio, después se eleva la temperatura de un cuerpo negro cuando las tonalidades de la lámpara y el cuerpo negro son las mismas, esa es la temperatura del color de la lámpara bajo prueba.

La Tabla 3 muestra una graduación de los colores en función de la temperatura:

TIPO DE COLOR	TEMPERATURA DEL COLOR [°K]	COLORES
FRÍO	> 5000	Verde, azul y violeta.
INTERMEDIO	$3300 > T > 5000$	Amarillo y algunas tonalidades de verde.
CÁLIDO	< 3300	Rojo y naranja.

Tabla 3. Tipo de color y su temperatura

Cuando la temperatura del color es menor se la llama cálido y cuando es mayor se le llama frío. Por tanto los colores cálidos son los que disponen de menos temperatura; mientras que los colores fríos alcanzan altas temperaturas.

Al asignar la temperatura del color a las lámparas encontramos una dificultad debido a que no se puede comparar el color emitido por un cuerpo negro en incandescencia con una lámpara de descarga, como son las de vapor de sodio, mercurio o con las mismas fluorescentes, razón por la cual se les otorga una temperatura aproximada.

“La temperatura de color define únicamente el color (tono) de la luz, pero no su composición espectral” (Rosas, 2000: 289).

La Tabla 4 muestra la temperatura de color de algunas lámparas que son utilizadas frecuentemente, así como algunas de luz natural en diferentes condiciones atmosféricas.

FUENTE LUMINOSA	TEMPERATURA DEL COLOR [°K]
Cielo azul	10000 a 30000
Cielo nublado	7000
Luz solar de día	6000
Lámparas de descarga (excepto Na):	
Luz del día	6000
Blanco neutral	3000 a 5000
Blanco cálido	< 3000
Lámpara de descarga Na	2900
Lámpara incandescente	2100 a 3200
Lámpara fotográfica	3400
Llama de vela	1800

Tabla 4. Temperatura del color de diferentes lámparas

Como nos podemos dar cuenta, muchas lámparas fluorescentes compactas tienen una temperatura de 6000 K, esto quiere decir que pertenecen al grupo de lámparas cuya temperatura es como la luz del día; otras se encuentran en el grupo de blanco cálido < 3000 K.

Índice de reproducción cromática

Para conocer la calidad con la cual será iluminado un objeto no es suficiente el dato de la temperatura del color, ya que si se tienen dos lámparas con similares temperaturas de color, hace falta el índice de reproducción de propiedades cromáticas.

Esto nos indica que el mismo objeto se puede ver de diferente color al ser iluminado por dos lámparas con índices de reproducción cromática diferente, porque como ya se mencionó anteriormente, los objetos no tienen color, el ojo humano distingue a los objetos por sus propiedades ópticas, pero los mismos no tienen ningún color.

“Al someter un cuerpo de muestra a la luz que se quiere analizar, nos da el desplazamiento de color o índice de reproducción cromática que se produce. Éste puede alcanzar el valor máximo de 100, que se toma para la luz de referencia del cuerpo negro” (ibíd.: 296).

Para deducir el índice de reproducción de las propiedades cromáticas de lámparas con temperatura < 5000 K se usa como referencia un cuerpo negro, y para lámparas con temperaturas > 5000 K se utiliza el sol como referencia.

En la Tabla 5 podemos observar el índice de reproducción de las propiedades cromáticas de algunas lámparas y de algunas fuentes de luz natural.

FUENTE LUMINOSA	ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICA (ICR)
Cielo azul	85 a 100
Cielo nublado	85 a 100
Luz solar de día	85 a 100
Lámparas de descarga (excepto Na):	
Luz del día	96 a 100
Blanco neutral	70 a 84
Blanco cálido	40 a 69
Lámpara de descarga Na	< 40
Lámpara incandescente	85 a 100
Lámpara fotográfica	85 a 100
Llama de vela	40 a 69

Tabla 5. Índice de reproducción de las propiedades cromáticas de diferentes fuentes de iluminación

Para apreciar de mejor manera los colores, las lámparas deben tener un índice de reproducción cromática cercano a 100 y poseer una luz próxima a la blanca.

Una comparación muy útil es la de una lámpara incandescente y una de vapor de sodio de baja presión, debido a que su temperatura de color es similar, pero su índice de reproducción cromática en la lámpara incandescente es 100, y la de vapor de sodio 10, por ello la apreciación de los colores será superior con la lámpara incandescente.

De la misma manera, el índice de reproducción cromática de las lámparas fluorescentes compactas es cercano a 100, por esta razón la apreciación de los colores reflejados por los objetos va a ser casi tan buena como con las lámparas incandescentes.

Curvas fotométricas

Las curvas fotométricas son llamadas también curvas de distribución luminosa, y son el “resultado de tomar medidas de intensidad luminosa en diversos ángulos alrededor de una fuente de luz o lámpara y de transcribirla en forma gráfica, generalmente en coordenadas polares” (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, 1962: 2-17).

En lámparas con distribución luminosa simétrica se las puede representar con una sola curva de distribución luminosa, como ejemplo los focos incandescentes.

La iluminación puede ser calculada para una superficie con la información de la curva de distribución luminosa, esta información por lo regular es proporcionada por el fabricante de la lámpara.

Los factores de conversión de lúmenes de cada zona suman de 0 a 180° 4π o 12,57, entonces una fuente luminosa que emite una candela tendrá 12,57 lúmenes.

Para lámparas con distribución luminosa asimétrica, se requieren de por lo menos tres curvas de distribución, una en plano al eje longitudinal a la lámpara, otra perpendicular y una tercera a 45° del eje de la lámpara, este es el caso de la mayoría de lámparas fluorescentes compactas, como se muestra en las siguientes figuras tomadas del manual técnico de OSRAM (OSRAM: 28).

A continuación se indican curvas fotométricas que dependen del diseño de la lámpara:

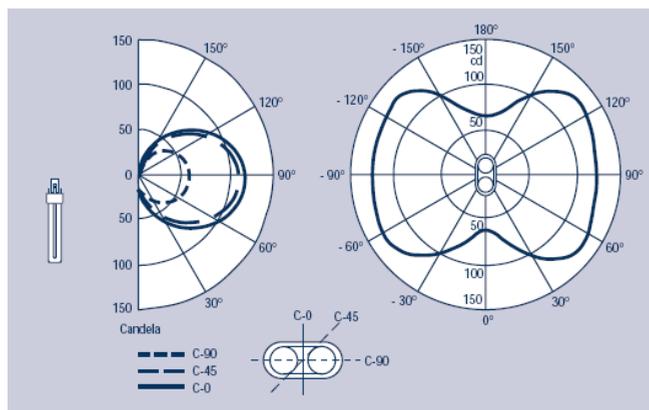


Figura 9. Lámpara OSRAM DULUX® S, OSRAM DULUX® S/E, OSRAM DULUX® L

(Distribución de intensidad luminosa axial y radial referida a 1000)

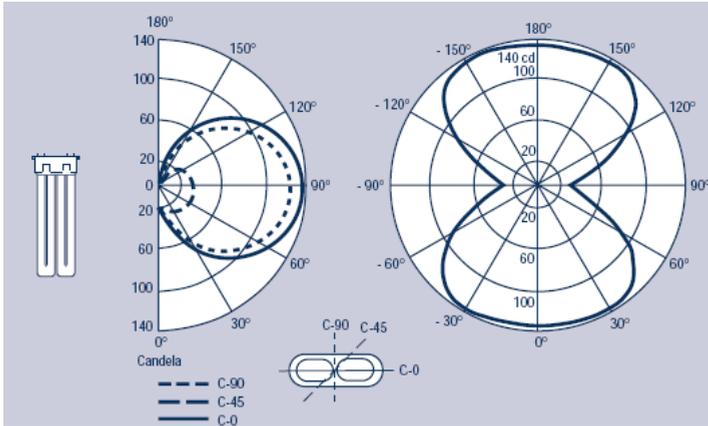


Figura 10. Lámpara OSRAM DULUX® F

(Distribución de intensidad luminosa axial y radial referida a 1000)

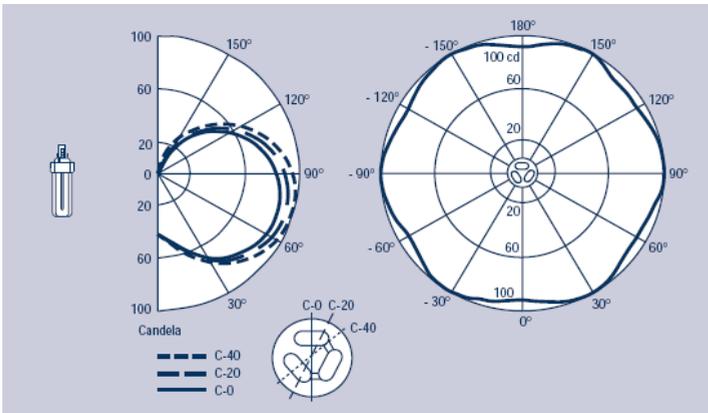


Figura 11. Lámpara OSRAM DULUX® T, OSRAM DULUX® T/E

(Distribución de intensidad luminosa axial y radial referida a 1000)

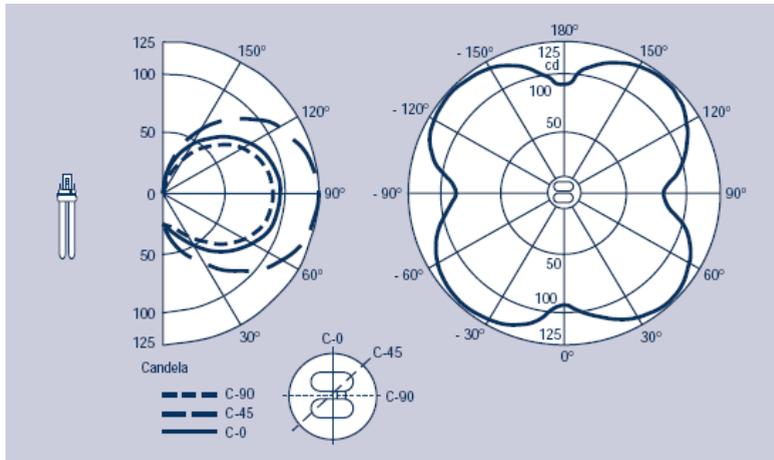


Figura 12. Lámpara OSRAM DULUX® D, OSRAM DULUX® D/E

(Distribución de intensidad luminosa axial y radial referida a 1000)

Normas sobre iluminación

Es difícil proporcionar las bases para definir el nivel luminoso que corresponde en cada caso; la Tabla 6 muestra el nivel luminoso mínimo recomendado para cualquier punto, por esa razón para realizar cualquier proyecto se deben tener en cuenta factores de mantenimiento en función del lugar a ser iluminado para que el nivel de iluminación no baje de los requerimientos mínimos dados a continuación.

- **Niveles de iluminación recomendados**

Conocer cuáles son los niveles de iluminación necesarios en una residencia constituye una información clave para realizar el estudio de iluminación de los focos ahorradores bajo prueba, ya que se utilizarán las lámparas en una habitación de una residencia común, y se observará si el nivel de iluminación de los focos ahorradores es similar o aproximado a los niveles óptimos, la Tabla 6 contiene los niveles de iluminación adecuados.

RESIDENCIAS Alumbrado general	NIVEL LUMINOSO RECOMENDADO EN LUX (MÍNIMO EN CUALQUIER MOMENTO)
Vestíbulo	100
Hall	100
Escaleras	100
Descansillo	100
Cuarto de estar	100
Comedor	100
Dormitorios	100
Biblioteca	100
Sala de juego	100
Cocina	300
Lavandería	300
Cuarto de baño	300

Tabla 6. Niveles de iluminación residenciales en lugares generales requeridos

Fuente: WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, 1962: 5-7.

ANÁLISIS DE ARMÓNICOS Y FACTOR DE POTENCIA



Estudio de armónicos que los focos ahorradores introducen a la red eléctrica

Los convertidores de potencia eléctrica son las mayores cargas no lineales y son usados para gran variedad de propósitos, tales como: fuentes de alimentación, variadores de velocidad, y de igual manera empleados para el funcionamiento de los focos ahorradores, etcétera.

Las cargas no lineales como los focos ahorradores cambian la naturaleza de la onda sinusoidal de la corriente de alimentación AC, esto produce un flujo de corrientes armónicas que son introducidas al sistema de distribución, lo que puede causar interferencia con circuitos de comunicación y con otros equipos principalmente electrónicos, esta interferencia también se puede producir en las residencias (Norma IEEE 519 – 1992: 1).

En los sistemas de distribución se utiliza comúnmente la compensación de potencia reactiva con capacitores para mejorar el factor de potencia, y existe la probabilidad de la ocurrencia de resonancia con los armónicos que las cargas no lineales introducen al sistema eléctrico, esto produce una gran distorsión de la forma de onda de la tensión y de la corriente.

Definiciones

- **Armónicas**

“La distorsión armónica es una forma de ruido eléctrico. Es la sobreposición de señales en múltiplos de la frecuencia fundamental de la potencia sobre la onda sinodal de la misma” (Fink, 23-10).

Los principales equipos electrónicos generadores de armónicos son los que emplean circuitos de rectificación o fuentes de poder para su funcionamiento como computadores, televisores, equipos de sonido, entre otros.

- **Armónico característico**

“Aquellos armónicos producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal” (Norma IEEE 519 – 1992: 3).

Por ejemplo un convertidor de seis pulsos tiene como armónicos característicos los impares diferentes a los múltiplos de tres, por ejemplo, los 5th, 7th, 11th, 13th, etcétera.

$$h = kq \pm 1$$

k = algún entero

q = número de pulso del convertidor

- **Armónicos no característicos**

“Los armónicos no característicos son producidos por equipos convertidores semiconductores en el curso de la operación normal” (ibíd.: 3).

Este tipo de armónicos son producidos por:

- Frecuencias oscilatorias.
- Demodulaciones del armónico característico.
- Demodulaciones de la fundamental.
- Desbalance en los sistemas de potencia AC, el ángulo de retardo asimétrico.
- Funcionamiento del ciclo-convertidores.

- **Carga no Lineal**

Una carga no lineal es aquella que posee una fuente de alimentación sinusoidal, pero la forma de onda de la corriente tiene una forma no sinusoidal.

- **Distorsión armónica total (THD).**

Es la relación entre el valor eficaz del total de las componentes armónicas y el valor eficaz correspondiente a la componente fundamental.

“La distorsión armónica total es una medida de la coincidencia de formas entre una onda y su componente fundamental” (Rahid, 2004: 230).

Para el cálculo de este factor se aplica la siguiente fórmula:

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} I_i^2}}{I_1} \times 100\%$$

(f) 10.

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} V_i^2}}{V_1} \times 100\%$$

(f) 11.

Donde:

i = Número de armónica.

I_1 = Valor eficaz de la onda fundamental de la corriente.

V_1 = Valor eficaz de la onda fundamental del voltaje.

I_i = Valor eficaz de la corriente del armónico k .

V_i = Valor eficaz del voltaje del armónico k .

Como se puede observar este factor es aplicable tanto para corriente como para tensión.

Para la normalización sobre la distorsión armónica total el CONELEC se basa en recomendaciones de la norma IEEE 519.

Calidad de energía eléctrica

La calidad de energía eléctrica se refiere a los requerimientos que debe tener el sistema para brindar una energía eléctrica confiable.

En el Ecuador la entidad encargada de controlar los índices de calidad de energía eléctrica es el CONELEC, estos índices son:

- Nivel de voltaje.
- Perturbaciones.
- Factor de potencia.

Las fórmulas utilizadas por el CONELEC para calcular los índices de calidad de la energía eléctrica son las siguientes:

$$V_i' = \frac{V_i}{V_n} \times 100$$

(f) 12.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i')^2}}{V_n} \times 100\%$$

(f) 13.

Donde:

- V_i' = Factor de distorsión armónica individual de voltaje.
- THD = Factor de distorsión total por armónicos, expresado en porcentaje.
- V_i = Valor eficaz (rms) del voltaje armónico “i” (para $i = 2... 40$) expresado en voltios.
- V_n = Voltaje nominal del punto de medición expresado en voltios.

Como se puede observar para efectos de esta regulación, el CONELEC considera desde las armónicas 2 hasta la 40.

- Límites establecidos por el CONELEC

El CONELEC establece que los valores (rms) de los voltajes individuales (V_i') y los THD que deben ser expresados como porcentaje, no deben sobrepasar los límites que se tabulan a continuación.

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o $ THD' $ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
	Impares no múltiplos de 3	
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
> 25	$0,1 + 0,6*25/n$	$0,2 + 1,3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1,5	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores a 12	0,2	0,5
THD	3	8

Tabla 7. Límites establecidos por el CONELEC de THD y o V_i'

Fuente: REGULACIÓN No. CONELEC – 004/01,
“Calidad del servicio eléctrico de distribución”: 9.

¿Cómo afectan los armónicos al sistema eléctrico?

Existen cargas que pueden ser más susceptibles a la presencia de los armónicos, la mayor susceptibilidad en los equipos se da en que estos asumen una entrada en forma de onda de voltaje sinusoidal. Estos equipos generalmente están presentes en comunicación y procesamiento de datos.

De la misma manera, muchas cargas como motores son muy tolerantes a la presencia de armónicos, sin embargo éstos podrían ser dañinos, ya que “pueden causar el calentamiento dieléctrico, esfuerzo eléctrico, ocasionando de esta manera un envejecimiento prematuro del aislamiento eléctrico” (NORMA IEEE 519 – 1992: 31).

Los fabricantes establecen los límites de funcionamiento de sus equipos por debajo de sus valores de falla para tener una operación adecuada y una vida prolongada, pero cuando existen condiciones de resonancia, dichos límites pueden ser excedidos, acelerando su envejecimiento o provocando su falla.

“Las corrientes armónicas pueden ocasionar problemas de distorsión, lo cual se refleja en la operación errática de equipo computarizado, sobrecalentamiento de equipo y conductores, falla prematura de equipos, disparo de interruptores” (Ministerio de Energía y Minas, *Eficiencia energética electricidad*: 170).

La magnitud de los costos originados por la operación de sistemas y equipos eléctricos con tensiones y corrientes distorsionadas puede percibirse considerando la reducción de la vida útil de los equipos por sobrecalentamiento producido por las corrientes armónicas.

Efectos de la distorsión armónica

- Efectos sobre equipos electrónicos

Los equipos que tengan electrónica de potencia pueden tener un mal funcionamiento ante la presencia de distorsiones armónicas, pues muchos de éstos dependen para su correcto funcionamiento de las señales del cruce por cero, y “La distorsión armónica puede resultar en un cambio en el cruce por voltaje cero o en el punto al cual un voltaje fase a fase se vuelve mayor que otro voltaje fase a fase” (Norma IEEE 519 – 1992: 35).

En equipos electrónicos como computadoras o equipos que tengan en su interior controladores programables se “requieren fuentes AC con un factor de distorsión de voltaje armónico menor al 5%, con el mayor armónico solo siendo menor al 3% del voltaje fundamental” (ibíd.: 35).

Como resultado de los altos niveles de armónicos se puede ocasionar falencias leves o graves en los equipos electrónicos, las falencias leves pueden no afectar notablemente la funcionalidad de los equipos, mientras que las graves inciden en su funcionalidad y tiempo de vida.

El ruido provocado por la presencia de armónicos puede perjudicar levemente las señales de radio y televisión, de igual manera, a las videograbadoras; estas señales muy pocas veces pueden ser visualizadas o escuchadas en forma de ruido.

Por tanto, la vida útil de equipos electrónicos en los cuales existe la presencia de capacitores y transformadores se ve reducida por la presencia de armónicos en el sistema eléctrico.

- Efecto sobre capacitores

Al tener cargas que toman corriente con distorsión y cargas que consumen reactivos, la compensación del factor de potencia con bancos de capacitores puede ocasionar una resonancia paralelo excitada, es decir, un aumento de la distorsión muy elevado, la misma que puede hacer disparar los interruptores termo magnéticos o abrir los fusibles que protegen a los capacitores.

Cuando se colocan capacitores para compensar el factor de potencia de las cargas inductivas como motores se corrige únicamente el factor de potencia de desplazamiento, no el de distorsión, esto provoca que el nivel de resonancia baje y el sistema pueda ser excitado por los armónicos producidos por las cargas no lineales.

La combinación no lineal e inductiva representa la condición de resonancia paralelo, la cual muestra distorsión elevada en los voltajes y sobre corrientes en los capacitores, por eso es que operan las protecciones.

“Una solución para este problema consiste en agregar una inductancia en serie con el capacitor de compensación reactiva” (Ministerio de Energía y Minas, Eficiencia Energética Electricidad: 171), la función de esta inductancia es desaparecer los riesgos de resonancia, pero un sistema más confiable tiene un costo más elevado.

- Efecto sobre transformadores

En los transformadores, el efecto que causan los armónicos es el incremento de pérdidas en el cobre y en el hierro como consecuencia del envejecimiento prematuro del mismo, a causa del sobrecalentamiento producido por el aumento de las pérdidas.

“El incremento de pérdidas depende de la frecuencia y, por tanto, los componentes armónicos de alta frecuencia pueden ser más importantes que los compo-

“nentes armónicos de baja frecuencia, causando calentamiento en el transformador” (Norma IEEE 519 – 1992: 33).

Las pérdidas que ocurren en el transformador causadas por la presencia de armónicos son las siguientes:

- Pérdidas proporcionales a la resistencia de los arrollamientos.
- Pérdidas causadas por corrientes parásitas.

La Tabla 8 muestra un resumen realizado por el Ministerio de Energía y Minas sobre los efectos observados por los armónicos en la vida de los equipos.

EQUIPO	EFECTOS OBSERVADOS
Transformador	Sobrecalentamiento si el factor “k” es elevado (superior a 2,7), y la carga es superior al 90% de la nominal.
Capacitores	Los capacitores pueden llegar a quemarse si la corriente es 1,3 veces la corriente nominal.
Motores de inducción	Sobrecalentamiento y vibraciones excesivas si la distorsión de tensión es superior a 5%.
Cables de conexión	Sobrecalentamiento si el valor efectivo de la corriente es superior a la que soporta el cable.
Equipos de computación	Pérdidas de algunos datos y daños en algunas componentes electrónicas debido a que el voltaje máximo es superior al nominal o a que existe una diferencia de voltaje entre neutro y tierra.

Tabla 8. Efectos de la distorsión armónica

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, Eficiencia energética electricidad, 174.

Análisis de armónicos para usuarios individuales

Para la reducción de armónicos se deben tomar en cuenta los factores económicos y la efectividad del control, ya que la presencia de armónicos en algún punto del sistema es inevitable; la norma IEEE 519 ha establecido límites para ciertos índices armónicos de corriente y voltaje.

Los índices armónicos recomendados por la norma IEE 519 (Norma IEEE 519 – 1992: 73) son:

- Distorsión de voltaje total e individual.
- Distorsión de corriente total e individual.

El efecto de los armónicos afecta de diversas formas, dependiendo del equipo analizado, razón por la cual la severidad del efecto no puede ser relacionada de un equipo a otro.

La restricción a los límites armónicos recomendados no previene en su totalidad los problemas de aumento de los mismos.

“Las mediciones de armónicos se registraran durante un periodo no inferior a 7 días continuos, en intervalos de medición de 10 minutos” (Regulación No. CONELEC – 004/01: 8) las mismas que servirán para determinar la conducta del sistema y el funcionamiento del equipo. El consumidor debe confirmar:

Que los capacitores para corregir el factor de potencia o los filtros armónicos no están sobre esforzados por los excesivos armónicos.

Que el nivel de los armónicos en el PCC (Punto de acoplamiento común) y en los puntos de utilización no es excesivo.

Límites para distorsión de corriente

Existe una limitación normalizada por la norma IEEE 519 sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica.

El límite de los clientes individuales es la cantidad de corriente armónica que ellos pueden inyectar en la red de distribución. Los límites de corriente se basan en el tamaño del consumidor con respecto al sistema de distribución.

Los grandes consumidores se restringen más que los pequeños. El tamaño relativo de la carga con respecto a la fuente se define como la relación de cortocircuito (SCR), al punto de acoplamiento común (PCC), que es donde la carga del consumidor conecta con otras cargas en el sistema de potencia.

El tamaño del consumidor es definido por la corriente total de frecuencia fundamental en la carga I_L , que incluye todas las cargas lineales y no lineales. El tamaño del sistema de abastecimiento es definido por el nivel de la corriente de cortocircuito ISC al PCC.

Estas dos corrientes definen el SCR:

$$SCR = \frac{\text{corriente de cortocircuito}}{\text{corriente de carga}} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

(f) 14.

Donde:

SCR= Relación de corto circuito.

Isc= Corriente de cortocircuito.

IL = Corriente de carga

Una relación alta significa que la carga es pequeña y que los límites aplicables no serán tan estrictos como los que corresponden cuando la relación es menor. Esto se observa en la Tabla 9, donde se recomiendan los niveles máximos de distorsión armónica en función del valor de SCR y el orden de la armónica.

La Tabla 9 también identifica niveles totales de distorsión armónica, todos los valores de distorsión de corriente se dan a base de la máxima corriente de carga (demanda). La distorsión total está en términos de la distorsión total de la demanda (TDD) en vez del término más común THD.

La filosofía del desarrollo de límites armónicos recomienda:

- “Limitar la inyección armónica de consumidores individuales para que ellos no causen niveles de distorsión de voltaje inaceptables para características normales del sistema, estos límites dependerán del tamaño del consumidor (corriente de cortocircuito del mismo).
- Limitar la distorsión armónica global del sistema de alimentación de voltaje por la subestación alimentadora” (Norma IEEE 519-1992: 74).

Los límites de corriente armónica individual son expresados en porcentaje de máxima corriente de carga (demanda).

“Los principales objetivos de los límites de corriente son para limitar el voltaje de frecuencia armónica individual máxima a 3% de la fundamental y el voltaje THD a 5% para sistemas que no tengan una resonancia paralela mayor a una de las frecuencias armónicas inyectadas” (ibíd.: 74).

Cada usuario inyecta a la red eléctrica diferentes corrientes armónicas, estas se diferencian en los ángulos de fase o en la inyección de armónicas en función del tiempo que cada usuario introduce a la red eléctrica.

Los límites de corrientes armónicas que los usuarios pueden introducir a la red eléctrica los podemos observar en la Tabla 9, para sistemas en los cuales se puede tener el dato de corriente de cortocircuito.

SCR en el PCC	Voltaje de Frecuencia Armónica Individual Máximo (%)	Asunción Relacionada
10	2,5-3,0%	Sistema dedicado
20	2,0-2,5%	1-2 grandes consumidores
50	1,0-1,5%	Consumidores relativamente grandes
100	0,5-1,0%	5-20 consumidores de tamaño mediano
1000	0,05-0,10%	Consumidores muy pequeños

Tabla 9. Límites de Voltaje de frecuencia armónica individual (ibíd.: 74)

La distorsión armónica causada por un solo consumidor puede ser limitada a un nivel aceptable en algún punto del sistema.

El sistema completo puede ser operado sin distorsión armónica substancial en cualquier parte del sistema. Los límites de distorsión de corriente recomendados se preocupan por el siguiente índice:

“TDD: distorsión demandada total (RSS), distorsión de corriente armónica en porcentaje de la máxima corriente de carga demandada” (ibíd.: 76).

La Tabla 10 recomienda los límites que pueden ser usados como valores de diseño de un sistema para “condiciones ideales” en operación normal, esto quiere decir situaciones que duran más de una hora.

Estos límites dependen del tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema, por esa razón se debe aplicar la misma fórmula de SCR (corriente de cortocircuito), y tomar como referencia el PCC (punto de acoplamiento común) mencionado anteriormente.

Toda generación, si está conectada al sistema de distribución, subtransmisión o transmisión, es tratada como la distribución de la subestación alimentadora y es por consiguiente sostenida por estas prácticas recomendadas.

Máxima Distorsión de Corriente Armónica en Porcentaje de IL						
Orden Armónico Individual (Armónicos Impares)						
Isc / IL	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
$< 20^*$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
$20 < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
$50 < 100$	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
$100 < 1000$	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Tabla 10. Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución en General desde 120 V hasta 69kV (ibíd.: 77)

Donde:

Isc = Máxima corriente de cortocircuito en el PCC.

IL = Máxima corriente de carga demandada (componente de frecuencia fundamental) en el PCC.

Efectos de la resonancia serie y paralelo

La resonancia paralela es una impedancia alta para el flujo de corriente armónica, mientras la resonancia serie es una impedancia baja para el flujo de corriente armónica.

- Resonancia paralela

“La resonancia paralela ocurre cuando la reactancia inductiva del sistema y las reactancias capacitivas son iguales a la misma frecuencia” (ibíd.: 25).

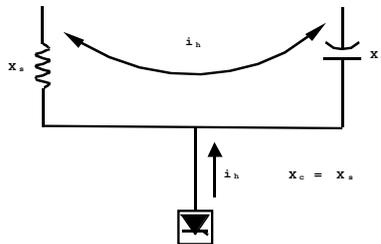


Figura 13. Representación de la resonancia en paralelo

- Resonancia serie

“La resonancia serie es el resultado de series de combinaciones de bancos de capacitores y líneas o inductancias de transformadores” (ibíd.: 25).

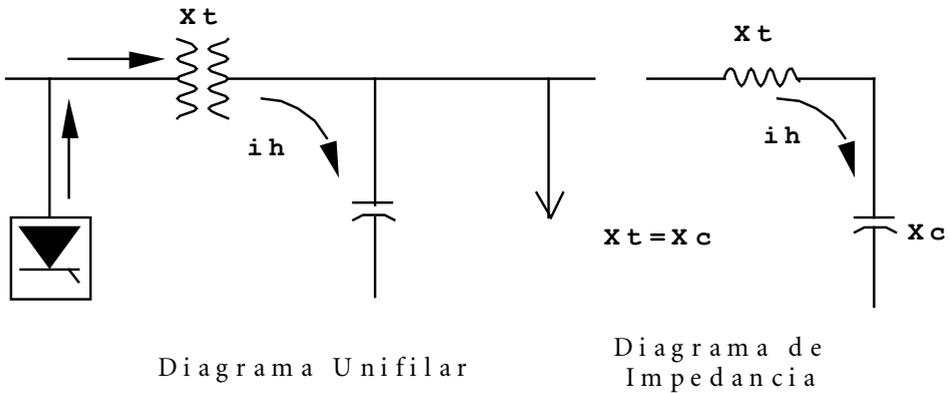


Figura 14. Representación de la resonancia serie (ibíd.: 25)

Aún con niveles de corriente de armónicas relativamente bajos, un circuito resonante puede ocasionar severos problemas de distorsión en el voltaje e interferencia telefónica.

Un circuito resonante paralelo puede amplificar los niveles de corriente armónica a un punto tal que produzca falla en los equipos.

Los circuitos resonantes serie pueden concentrar el flujo de corrientes armónicas en alimentadores o líneas específicas al punto de producir interferencia telefónica de gran magnitud.

Límites de distorsión de voltaje

Los límites de distorsión de voltaje recomendados según la norma IEEE 519 que se muestran en la Tabla 11 y corresponden a los siguientes índices:

THD: distorsión armónica de voltaje total en porcentaje del voltaje de frecuencia fundamental nominal.

Los límites dados en la Tabla 11 pueden ser usados como valores de diseño de sistemas para el “peor de los casos”, con una operación normal.

Voltaje de Barra en el PCC	Distorsión de Voltaje Individual (%)	Distorsión de Voltaje Total THD (%)
69 kV y por debajo	3,0	5,0
69.001 V a 161 kV	1,5	2,5
161.001 V y por encima	1,0	1,5

Tabla 11. Límites de Distorsión de Voltaje (ibid.: 75).

La Tabla 12 es una comparación entre los límites establecidos por el CONELEC, y los límites recomendados por la norma IEEE 519 – 1992.

Nivel de voltaje	THDv (%) Establecidos por el CONELEC	THDv (%) Recomendados por la norma IEEE 519 - 1992
40 kV y por debajo	8%	5%

Tabla 12. Comparación entre límites de THDv entre CONELEC y IEEE

Los límites establecidos por el CONELEC son un 3% mayores que los recomendados por la norma IEEE 519 – 1992, esto nos indica que el CONELEC ha tomado en cuenta las recomendaciones de la norma IEEE – 519, que las ha adecuado a las condiciones del sistema eléctrico del Ecuador, queda claro que para tener un sistema más confiable con menor THD se requiere una mayor inversión.

Según el CONELEC, el límite establecido de % THD es de 8, pero este valor es para los puntos de acoplamiento común como los transformadores de distribución, para nuestro objeto de estudio nos centraremos en la viviendas, y normalizar el % THD permisible para los focos ahorradores de tal manera que no aumenten en forma grande el límite establecido por el CONELEC en el punto de acoplamiento común.

Estudio del factor de potencia de los focos ahorradores

En las últimas décadas se han incorporado en gran número las cargas no lineales, entre ellas los focos ahorradores y equipos electrónicos de uso masivo por usuarios de tipo residencial, estas cargas se han vuelto imprescindibles en vida de las personas.

Estas cargas no lineales hacen que cada usuario residencial presente un factor de potencia bajo.

Sin embargo, la Empresa Eléctrica no toma en cuenta que son los usuarios residenciales los mayores generadores de armónicos debido a las cargas no lineales que provocan en la red eléctrica.

Las siguientes normas nos dan una referencia del factor de potencia de los focos ahorradores.

“El factor de potencia mínimo aceptable para las lámparas compactas con balasto integrado debe ser de $0,5 \pm 0,05$ ” (INEN, Norma 036: 2008, 7).

“Cuando una lámpara integrada es declarada por el fabricante como de alto factor de potencia, este no debe ser menor que $0,92 \pm 0,05$ ” (ibíd.: 8).

Factor de potencia de desplazamiento

Para comprender el concepto de factor de potencia de desplazamiento es importante tener claros los conceptos de potencia que se indican a continuación:

- **Potencia Activa**

“Es la potencia que consume una carga durante un periodo tiempo” (Edminister, 2009: 265), esta potencia no puede ser negativa, los medidores de energía eléctrica para los usuarios residenciales miden únicamente esta potencia.

$$P = V \times I_1 \times \cos\varphi$$

(f) 15.

Donde:

P = Potencia activa [W]

V = Voltaje [V]

I_1 = Corriente fundamental [A]

φ = ángulo comprendido entre P y S

- **Potencia reactiva**

“Cuando un circuito contiene bobinas, capacitores, o ambos tipos de elementos, una parte de la energía consumida durante un ciclo se almacena en ellos y, posteriormente, regresa a la fuente. Durante este periodo de retorno de la energía, la potencia es negativa” (Edminister, 2009: 266), razón por la cual los motores y otras máquinas necesitan esta potencia para su funcionamiento.

$$Q = V \times I_1 \times \text{sen}\varphi$$

(f) 16.

Donde:

Q = Potencia reactiva [VAR]

V = Voltaje [V]

 I_1 = Corriente fundamental [A] φ = Ángulo entre P y S

- Potencia aparente

Esta potencia considera la tensión nominal que necesitan los equipos para la corriente que ellos mismos demandan, esta potencia es lo que limita la utilización de transformadores, líneas de alimentación y demás elementos componentes de los circuitos eléctricos.

$$S = V \times I$$

(f) 17.

Donde:

S = Potencia Aparente [VA]

V = Voltaje [V]

I = Corriente [A]

Las potencias (activa, reactiva, y aparente) pueden ser representadas gráficamente mediante el triángulo de potencias que se muestra en la siguiente figura:

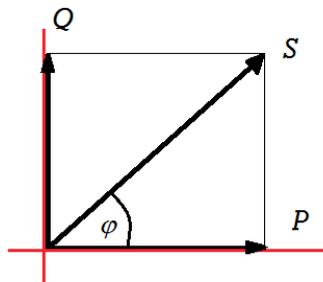


Figura 15. Triángulo de potencias

El factor de potencia por desplazamiento es el coseno del ángulo φ por tanto:

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

(f) 18.

Donde:

FPD = Factor de potencia de desplazamiento.

P= Potencia activa.

S= Potencia aparente.

Factor de potencia, incluyendo el contenido armónico

Para poder comprender de una manera adecuada el concepto de factor de potencia es importante tener claros los conceptos de potencia que se indican a continuación:

- Definiciones de potencia para cargas no lineales

Cuando no existe una relación matemática lineal entre la corriente y la tensión aplicada a un circuito, esto quiere decir que si se alimenta al circuito con una tensión sinusoidal y por el mismo circulan corrientes no senoidales.

Por ello, las fórmulas antes mencionadas deben ser ampliadas de esta manera:

$$S = V x I = V x I \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}$$

(f) 19.

Donde:

S = Potencia aparente de una carga no lineal.

V = Voltaje rms.

In = Valor de la corriente correspondiente a su respectivo armónico.

A la potencia activa solo contribuye la onda fundamental como indica la (f) 15, el concepto de potencia aparente no cambia del mencionado en la (f) 17, ahora si reemplazamos los valores de P y S en la (f) 18 tenemos:

$$FP = \frac{V \times I_1 \times \cos \varphi}{V \times I}$$

$$FP = \frac{I_1}{I} \cos \varphi$$

(f) 20.

Donde:

FP = Factor de potencia incluido el contenido armónico.

$\frac{I_1}{I}$ = Factor de distorsión k.

La relación $\frac{I_1}{I}$ se denomina factor de contracción (k) y representa un índice del grado de distorsión de la onda de corriente. Así, si ésta fuera senoidal pura valdría 1 con lo cual el factor de potencia sería igual al $\cos \varphi$ en coincidencia con lo que se conoce para régimen senoidal.

En caso de lámparas con balasto electrónico, en este caso los focos ahorradores el factor de potencia debe llevar en consideración la distorsión de la forma de onda de la corriente, la cuál se calcula de la siguiente manera:

$$FP = \frac{\text{POTENCIA PROMEDIO}}{\text{POTENCIA APARENTE}} = \frac{P, (W)}{VI, (VA)}$$

$FP = FP \text{ desplazamiento} \times FP \text{ distorsión}$

$$FP \text{ dist} = \frac{FP}{FP \text{ desplazamiento}} = \frac{P}{V \times I \times \cos \varphi}$$

$$FP \text{ dist} = \frac{V \times I_1 \times \cos \varphi}{V \times I \times \cos \varphi} = \frac{I_1}{I} = \frac{I_1}{I_1 \times \sqrt{1 + THDi^2}}$$

$$FP \text{ dist} = \frac{1}{\sqrt{1 + THDi^2}} \quad (f21)$$

(f) 21.

Donde:

FPdist = Factor de potencia incluyendo al contenido armónico.

THDi = Distorsión armónica total.

Corrección del factor de potencia

Cuando analizamos a las cargas no lineales, no es suficiente compensar el factor de potencia de desplazamiento, ya que aunque compensemos el factor de potencia por desplazamiento de toda la componente fundamental de I (con $\cos\varphi = 1$), el factor de potencia total será inferior a 1, pues no se ha compensado el factor de potencia generado por los armónicos.

Hay que tener mucho cuidado al compensar el factor de potencia de desplazamiento cuando se encuentran presentes cargas no lineales grandes generadoras de armónicos, porque se puede causar resonancia en paralelo con los capacitores colocados para la compensación.

Los equipos destinados a ese fin se denominan filtros de armónicas y su función es disminuir en la red el contenido de las corrientes armónicas que la carga no lineal introduce, atenuando de esta forma los efectos perjudiciales que detallaremos más adelante.

El factor de potencia en el sector residencial

En el sector residencial es posible identificar tres tipos de cargas perfectamente diferenciadas en la Tabla 13:

CARGAS LINEALES FP = 1	CARGAS LINEALES FP < 1	CARGAS NO LINEALES
Focos incandescentes	Refrigeradora	Focos ahorradores
Ducha eléctrica	Lavadora de ropa	Televisores
Secadora de pelo	Licuadaora	Equipo de sonido
Tostadora	Batidora	Computadora
Sanduchera	En general equipos que funcionen con motor monofásico que no tengan compensación capacitiva	Cargador Laptop
Termostato		Cargador celular

CARGAS LINEALES FP = 1	CARGAS LINEALES FP < 1	CARGAS NO LINEALES
Estufa		DVD
Plancha		Microondas
En general equipos con resistencias únicamente		Impresora
		En general equipos que necesiten de electrónica para funcionar

Tabla 13. Equipos de uso común en viviendas residenciales

¿Cómo afecta el factor de potencia y la distorsión armónica a las empresas eléctricas?

La distorsión armónica que se encuentra presente en el sistema eléctrico por el uso de equipos electrónicos, principalmente, afecta a las empresas eléctricas de la siguiente manera:

- Menor tiempo de vida útil de cables y equipos tales como seccionadores, aisladores, transformadores, capacitores, inductancias, etcétera, en las redes de distribución.
- Mayor mantenimiento preventivo y correctivo de las líneas de distribución.
- Incremento del calibre de conductor, especialmente del neutro, dependiendo de la cantidad de distorsión armónica del sistema.
- Disminución de la calidad de energía eléctrica suministrada.

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL FUNCIONAMIENTO DE FOCOS AHORRADORES FRENTA A DISTINTOS TIPOS DE CARGAS



Levantamiento de resultados del comportamiento eléctrico de focos ahorradores

Con la ayuda de los equipos Fluke 43B y 435 (Analizadores de calidad de energía) se tomó mediciones de varias muestras de focos ahorradores de distintas marcas y de varios equipos electrónicos de uso común en un grupo de viviendas, las mismas nos servirán para analizar de una manera detallada en qué medida los focos ahorradores y en general las cargas no lineales disminuyen la calidad de energía eléctrica.

Cada una de las pruebas y mediciones será detallada a continuación para su posterior análisis:

- Conexión de equipos para medición de corriente, voltaje y visualización de la forma de onda

La Figura 16 muestra la manera adecuada de realizar la medición y visualización de la forma de onda de la corriente de un foco ahorrador con el analizador de calidad de energía Fluke 43B.

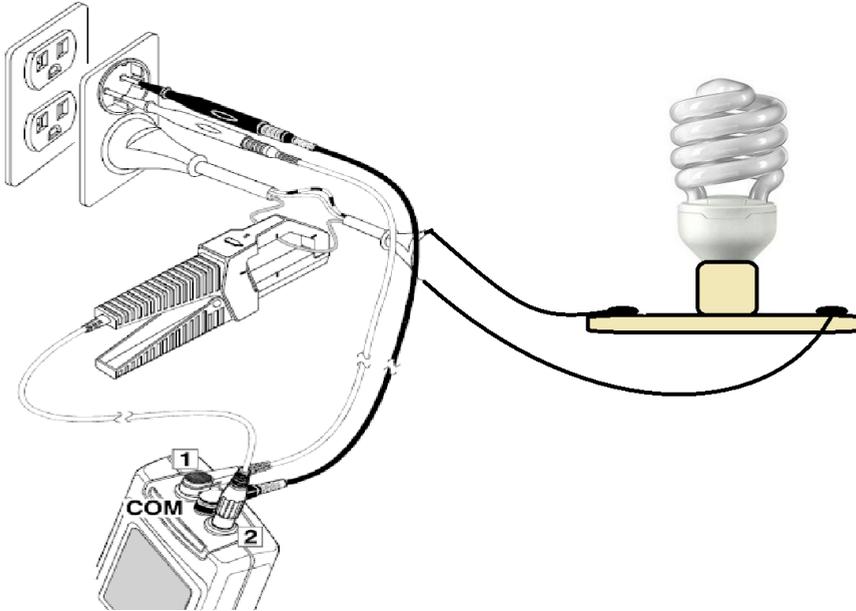


Figura 16. Medición I, V y visualización de la forma de onda

En la pantalla del analizador se va a observar una pantalla similar a la que se muestra a continuación:

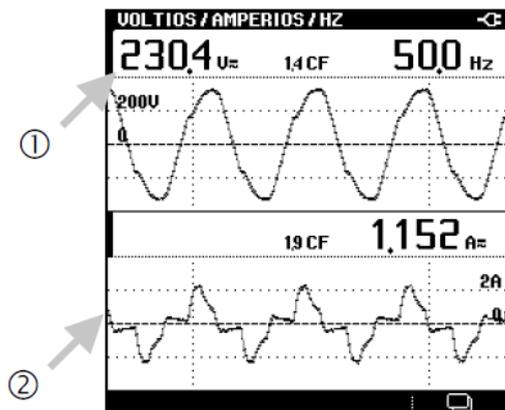


Figura 17. Pantalla analizador Fluke 43B en modo Voltios/ Amperios/ Hertz

Donde:

1. Forma de onda del voltaje, la frecuencia, el valor del voltaje rms.
2. Forma de onda de la corriente, corriente rms.

- Medición % THD de voltaje

La Figura 18 muestra la forma adecuada de conectar el analizador de calidad de energía Fluke 43B para la medición de la distorsión armónica total de voltaje.

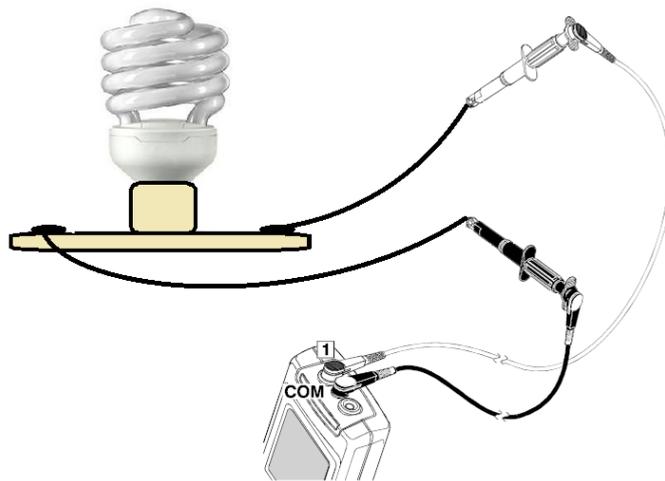


Figura 18. Medición de % THD V

En la pantalla del analizador se muestra una pantalla similar a la siguiente:

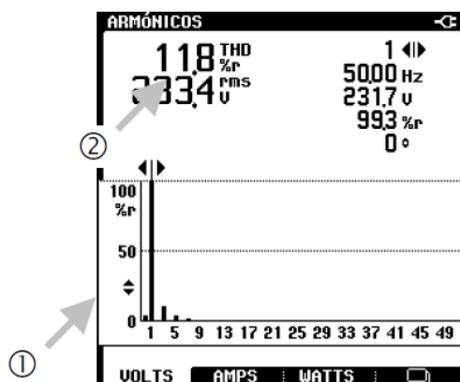


Figura 19. Pantalla analizador Fluke 43B en modo Armónicos de Voltaje

Donde:

1. Valores de % THD del voltaje, Voltaje rms.
2. Gráfica de espectros del % THD del voltaje.

- Medición % THD de corriente

La Figura 20 muestra la forma adecuada de conectar el analizador de calidad de energía Fluke 43B para la medición de la distorsión armónica total de corriente.

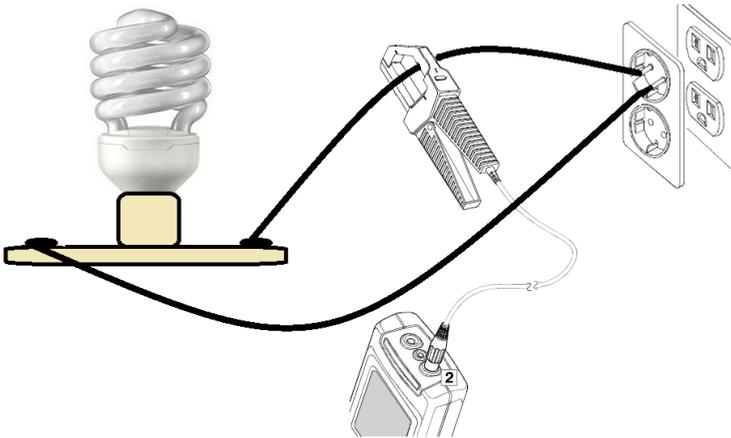


Figura 20. Medición de % THD I

En la pantalla del analizador se muestra una pantalla similar a la siguiente:

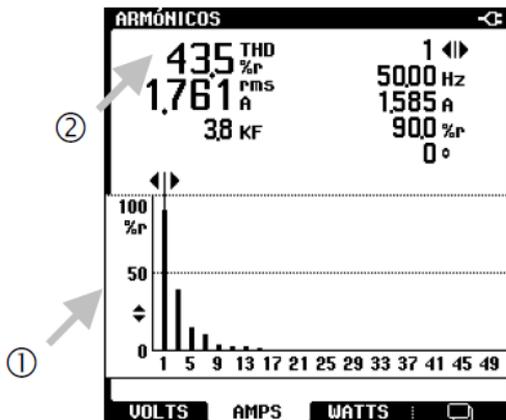


Figura 21. Pantalla analizador Fluke 43B en modo Armónicos de Corriente

Donde:

Valores de % THD del corriente, corriente rms, factor de distorsión k.

1. Gráfica de espectros del % THD de la corriente.

- Medición de potencia y factor de potencia

La Figura 22 muestra la forma adecuada de conectar el analizador de calidad de energía Fluke 43B para la medición de la potencia.

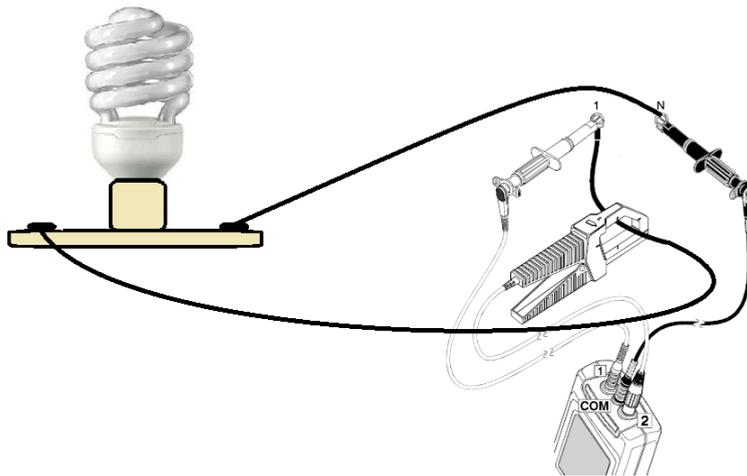


Figura 22. Medición de potencia y factor de potencia

En la pantalla del analizador se muestra una pantalla similar a la siguiente:

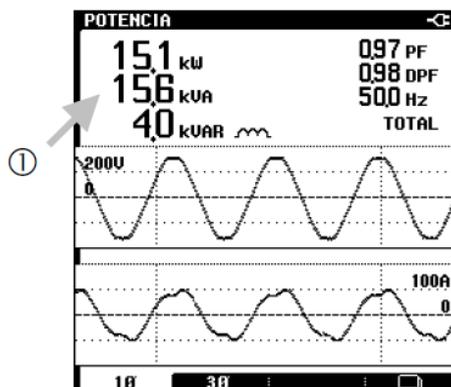


Figura 23. Pantalla analizador Fluke 43B en modo potencia

Donde:

Valores de potencia activa, reactiva, aparente, factor de potencia sin incluir el contenido armónico (PF), factor de potencia, incluyendo el contenido armónico (DPF), frecuencia.

- Conexión del registrador con el Fluke 435

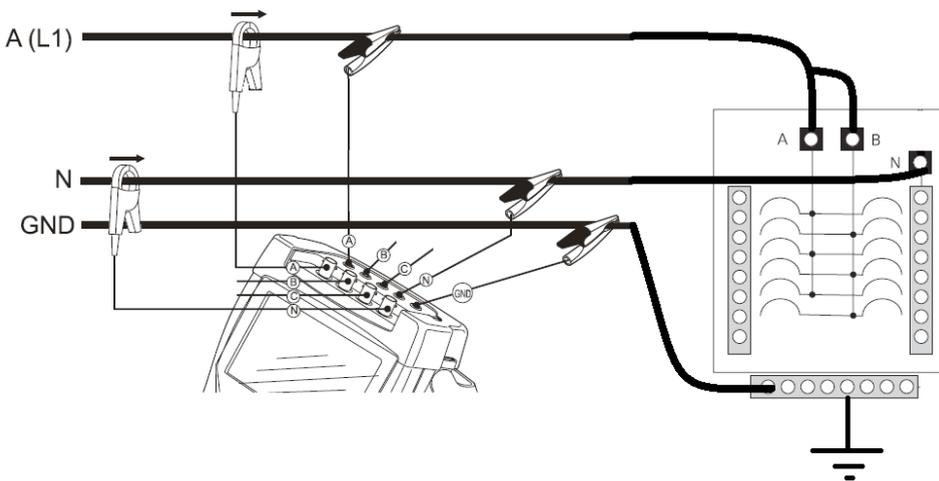


Figura 24. Conexión del analizador de calidad de energía Fluke 435 en modo registrador

Es importante colocar el analizador en modo de registrador, en nuestro caso se lo programó para tomar mediciones cada 30 segundos durante los siete días de la semana. El programa que envía adquiere los datos del registrador para luego enviarlos como archivo de texto se llama Power Log, y es propio de la marca.

- Medición de niveles de iluminación de las distintas marcas de focos ahorradores

Es recomendable realizar las mediciones a 80 cm del suelo y dividir al espacio en cuadrados imaginarios de 60 cm a la habitación, como se muestra en la siguiente figura:

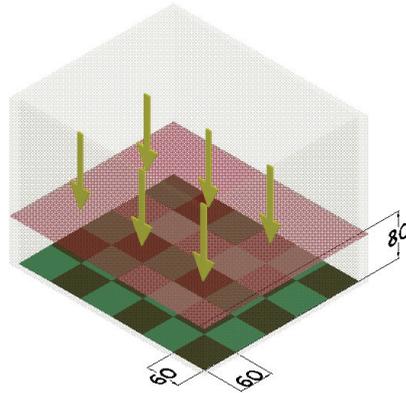


Figura 25. (Método para realizar la medición de los niveles de iluminación en una habitación)

El sensor está calibrado de fábrica con una luz de Tungsteno de 2856°K, por lo tanto cualquier medición de una fuente luminosa distinta deberá corregirse con Tabla 2 que para el caso de las lámparas fluorescentes compactas de luz blanca o day light se toma el factor de multiplicación de 1,08.

Resultado de la medición de niveles de iluminación

Los resultados de las pruebas de iluminación realizadas a las distintas lámparas a partir de la Figura 25 han sido tabulados tomando en cuenta la cantidad de iluminación en [LUX], la potencia de la lámpara bajo prueba para de esa manera poder sacar un valor de eficiencia de la misma en [LUX/W]; los niveles de iluminación medidos van a ser comparados con lámparas incandescentes de 60 y 100 W, con esta comparación se determinará si los niveles de iluminación de los focos ahorradores puede o no sustituir al de las lámparas incandescentes tradicionales.

ITEM	LÁMPARA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	POTENCIA MEDIDA	EFICIENCIA
		LUX	W	LUX/W
1	INCANDESCENTE 100W	89,00	100	0,89
2	INCANDESCENTE 60W	80,00	60	1,33

Tabla 14. Eficiencia de los focos incandescentes convencionales

ITEM	LÁMPARA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	POTENCIA MEDIDA
		LUX	W
1	LFC (1)	98,25	18
2	LFC (2)	87,00	19
3	LFC (3)	85,00	14
4	LFC (4)	84,96	15
5	LFC (5)	84,69	16
6	LFC (6)	84,51	18
7	LFC (7)	83,61	19
8	LFC (8)	82,89	19
9	LFC (9)	82,44	16
10	LFC (10)	80,17	20
11	LFC (11)	75,51	14
12	LFC (12)	75,33	16
13	LFC (13)	73,89	14
14	LFC (14)	72,50	17
15	LFC (15)	68,22	12
16	LFC (16)	63,09	13
17	LFC (17)	55,89	12
18	LFC (18)	53,10	19
19	LFC (19)	51,57	9
20	LFC (20)	41,40	12
21	LFC (21)	30,06	12
22	LFC (22)	29,88	8
23	LFC (23)	29,70	10
24	LFC (24)	27,45	10
25	LFC (25)	25,83	5
26	LFC (26)	16,47	6
27	LFC (27)	11,16	3

Tabla 15. Cantidad de iluminación de las lámparas bajo prueba

ITEM	LÁMPARA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	POTENCIA MEDIDA	EFICIENCIA
		LUX	W	LUX/W
1	LFC (3)	85,00	14	6,07
2	LFC (19)	51,57	9	5,73
3	LFC (15)	68,22	12	5,69
4	LFC (4)	84,96	15	5,66
5	LFC (1)	98,25	18	5,46
6	LFC (11)	75,51	14	5,39
7	LFC (5)	84,69	16	5,29
8	LFC (13)	73,89	14	5,28
9	LFC (25)	25,83	5	5,17
10	LFC (9)	82,44	16	5,15
11	LFC (16)	63,09	13	4,85
12	LFC (12)	75,33	16	4,71
13	LFC (6)	84,51	18	4,70
14	LFC (17)	55,89	12	4,66
15	LFC (2)	87,00	19	4,58
16	LFC (7)	83,61	19	4,40
17	LFC (8)	82,89	19	4,36
18	LFC (14)	72,50	17	4,26
19	LFC (10)	80,17	20	4,01
20	LFC (22)	29,88	8	3,74
21	LFC (27)	11,16	3	3,72
22	LFC (20)	41,40	12	3,45
23	LFC (23)	29,70	10	2,97
24	LFC (18)	53,10	19	2,79
25	LFC (24)	27,45	10	2,75
26	LFC (26)	16,47	6	2,75
27	LFC (21)	30,06	12	2,51

Tabla 16. Eficiencia de las lámparas bajo prueba en base a la potencia medida

Pruebas programadas de % THD de corriente y factor de potencia a lámparas y equipos electrónicos

Para obtener un resultado adecuado para efectos de los estudios se ha realizado dos secuencias de pruebas, que se detallan a continuación:

Secuencia 1:

- Se realizarán 18 pruebas simbolizadas desde la P1 hasta la P18.
- En la P1 empiezan encendidos todos los equipos electrónicos y las lámparas y se realizan las mediciones correspondientes.
- Desde la P2 hasta la P11 se apagan de una en una las lámparas de la vivienda, de igual manera se realizaron las mediciones correspondientes en cada prueba.
- Desde la P11 hasta la P18 se apagan de uno en uno los equipos electrónicos de la vivienda, al igual se realizaron las mediciones correspondientes en cada prueba.

El análisis de las pruebas sirve para determinar el comportamiento de los focos ahorradores frente a los distintos tipos de cargas electrónicas, a continuación se indica la secuencia 1.

FOCOS AHORRADORES	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
LFC CUARTO MASTER	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC CUARTO 1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC CUARTO 2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC BAÑO 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC GRADAS	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC CUARTO HUÉSPEDES	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC COMEDOR	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC SALA	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC COCINA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC BAÑO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
EQUIPOS ELECTRÓNICOS (CARGA NO LINEAL)																		
PLASMA 42"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
TV 21"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
EQUIPO DE SONIDO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
CARGADOR LAPTOP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
LCD 32"	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
DVD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
IMPRESORA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
MICROONDAS	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DONDE :	
ENCENDIDO	1
APAGADO	0

Secuencia 1: 1era. medición programada en el TDP de una vivienda

Basados en el secuencia 1 se han obtenido los siguientes resultados de % THD de corriente y factor de potencia, para complementar el cuadro se muestran los valores de deformación de onda K, potencia y corriente.

	% THD	I	K	P	PF	DPF
	CORRIENTE	[A]		[W]		
P1	33,1	2,17	2	2670	0,94	1
P2	42	6,6	3,7	810	0,89	0,98
P3	36,3	7,05	3	760	0,89	0,98
P4	39,7	6,3	3,1	790	0,9	0,98
P5	37,4	6,8	3,3	770	0,9	0,99
P6	38,5	6,6	3,2	720	0,9	0,99
P7	35,4	6,4	3,1	770	0,91	0,99
P8	34,9	5,9	3,7	730	0,91	0,99
P9	38,9	5,4	3,5	660	0,9	0,99
P10	34,5	5,9	3	650	0,91	0,99
P11	35	5,8	3,2	640	0,91	0,99
P12	35,6	5,7	3,1	640	0,91	0,99
P13	63,7	2,9	9,4	290	0,76	1
P14	63,9	2,1	10,4	210	0,76	0,99
P15	65,7	2,01	11,5	197	0,74	0,99
P16	64,1	1,68	9,4	150	0,73	0,99
P17	51,7	0,403	13,3	32	0,78	0,96
P18	50,3	0,313	16,4	21	0,76	0,92
P19	48,2	0,27	15,6	24	0,8	0,96

Tabla 17. Resultado de experimentos secuencia 1

SECUENCIA 2:

- Se realizarán 17 pruebas simbolizadas desde la P1 hasta la P17.
- En la P1 empiezan encendidos todos los equipos electrónicos y las lámparas, y se realizan las mediciones correspondientes.
- Desde la P2 hasta la P8 se apagan de uno en uno los equipos electrónicos de la vivienda y se realizan las mediciones correspondientes en cada prueba.
- Desde la P8 hasta la P17 se apagan de una en una las lámparas de la vivienda y se realizan las mediciones correspondientes en cada prueba. El análisis de las pruebas sirve para determinar el comportamiento de los focos ahorradores frente a los distintos tipos de cargas electrónicas, a continuación se indica la secuencia 2.

FOCOS AHORRADORES	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17
LFC CUARTO MASTER	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LFC CUARTO 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
LFC CUARTO 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
LFC BAÑO 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
LFC GRADAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
LFC CUARTO HUESPEDES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
LFC COMEDOR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
LFC SALA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
LFC COCINA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
LFC BAÑO	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EQUIPOS ELECTRONICOS (CARGA NO LINEAL)																	
PLASMA 42"	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TV 21"	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EQUIPO DE SONIDO	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CARGADOR LAPTOP	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LCD 32"	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DVD	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IMPRESORA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

DONDE :	
ENCENDIDO	1
APAGADO	0

Secuencia 2. 2da. medición programada en el TDP de una vivienda

Con base en la secuencia 2 se han obtenido los siguientes resultados de % THD de corriente y factor de potencia, para complementar el cuadro se han muestran los valores de deformación de onda K, potencia y corriente.

	% THD	I	K	P	PF	DPF
	CORRIENTE	[A]		[W]		
P1	39,9	7,8	3,2	840	0,89	0,98
P2	40,1	6,6	4,2	800	0,91	0,98
P3	41,3	5,8	4,1	650	0,89	0,98
P4	40	5,54	4,4	600	0,88	0,98
P5	37,3	5,8	4,4	510	0,88	0,98
P6	39,2	5,3	5,4	500	0,89	0,97
P7	66,1	2,6	16,4	220	0,69	0,92
P8	67,3	2,5	18,1	210	0,68	0,93
P9	67	2,2	16,3	200	0,68	0,92
P10	66,2	2	17,4	167	0,69	0,92
P11	65,8	1,5	19	129	0,69	0,91
P12	66,5	1,3	23,8	110	0,68	0,92
P13	66,6	1,14	28,4	92	0,67	0,91
P14	63,8	0,91	27	76	0,7	0,92
P15	60	0,7	26	60	0,72	0,93
P16	54,2	0,49	30	43	0,77	0,94
P17	47,7	0,21	17,3	26	0,79	0,95

Tabla 18. Resultado de experimentos secuencia 2

Pruebas de % THD de corriente y factor de potencia a lámparas y equipos electrónicos por 7 días en el TDP

Debido a la importancia de realizar las mediciones con un aproximado del uso de los equipos eléctricos y los focos ahorradores, durante un periodo de 7 días han sido tomadas en intervalos de 30 segundos por el analizador de calidad de energía Fluke 435 (como se muestra en la Figura 24), mediciones de potencia activa, distorsión armónica total de voltaje y corriente, factor de potencia de desplazamiento, factor de potencia, incluyendo el contenido armónico; las mismas se tomaron en los horarios de mayor consumo por día en la vivienda.

Los resultados del análisis con el equipo de calidad de energía Fluke 435, se basan en potencias superiores a 280 W, debido a los rangos de medida que tiene el instrumento se ha dividido a cada una de las tablas en dos horarios; el primero va desde las 7h00 hasta las 17h00, debido a que en este tiempo las lámparas se encuentran apagadas y solo se encuentran funcionando los equipos electrónicos; el segundo, de 18h00 hasta las 23h00 que es el periodo en que funcionan conjuntamente lámparas y equipos electrónicos; el análisis se realizará de manera independientemente con el fin de llegar a una conclusión del comportamiento de las lámparas y de los equipos electrónicos bajo prueba.

A continuación se muestran las tablas con el resultado de las pruebas realizadas.

HORA	POTENCIA PROMEDIO	POTENCIA MAX	% THD A PROMEDIO	% THD A MAX	DPF	DPF MIN	PF	PF MAX
	W	W	%	%				
7:00	314,17	1500	22,05	37,12	0,99	0,98	0,79	0,94
8:00	286,36	300	20,35	85,16	0,99	0,99	0,84	0,94
16:00	416,67	1400	21,57	27,64	0,95	0,71	0,81	0,95
17:00	569,17	600	25,67	31,24	1,00	1	0,94	0,95
18:00	442,50	800	47,89	55,98	1,00	0,99	0,85	0,95
19:00	626,67	800	32,84	52,61	1,00	1	0,92	0,96
20:00	573,33	2200	21,94	28,96	1,00	0,99	0,94	0,96
21:00	586,67	1000	30,03	43,01	1,00	1	0,92	0,97
22:00	289,17	600	67,73	84,97	1,00	1	0,67	0,91

Tabla 19. Resultado de las mediciones en el TD (lunes)

HORA	POTENCIA PROMEDIO	POTENCIA MAX	% THD A PROMEDIO	% THD A MAX	DPF	DPF MIN	PF	PF MAX
	W	W	%	%				
20:00	507,50	1500	24,40	49,35	1,00	0,98	0,86	0,95
21:00	666,67	1200	29,29	33,62	1,00	1	0,94	0,95
22:00	384,17	700	42,18	47,56	0,99	0,99	0,86	0,94

Tabla 20. Resultado de las mediciones en el TD (martes)

HORA	POTENCIA PROMEDIO	POTENCIA MAX	% TGD A PROMEDIO	% TGD A MAX	DPF	DPF MIN	PF	PF MAX
	W	W	%	%				
6:00	294,29	500,00	33,45	81,07	0,91	0,70	0,70	0,92
7:00	350,00	2100,00	30,78	80,14	1,00	0,92	0,86	0,98
8:00	280,83	500,00	24,80	78,63	1,00	1,00	0,83	0,95
9:00	415,00	600,00	19,37	28,09	1,00	0,99	0,82	0,97
12:00	311,25	1400,00	37,03	86,49	0,98	0,87	0,50	0,98
13:00	331,36	2000,00	67,76	81,17	0,99	0,92	0,65	0,94
17:00	332,50	400,00	29,95	35,50	1,00	0,99	0,86	0,95
18:00	440,83	600,00	46,52	75,75	1,00	0,99	0,74	0,93
19:00	495,00	700,00	45,23	74,54	1,00	0,99	0,68	0,93
20:00	495,00	800,00	33,73	44,10	1,00	1,00	0,90	0,96
21:00	295,83	400,00	36,46	78,41	0,95	0,79	0,80	0,93
22:00	708,33	1000,00	27,96	46,90	1,00	0,99	0,92	0,97
23:00	284,17	400,00	42,32	48,55	0,99	0,99	0,79	0,88

Tabla 21. Resultado de las mediciones en el TD (miércoles)

HORA	POTENCIA PROMEDIO	POTENCIA MAX	% THD A PROMEDIO	% THD A MAX	DPF	DPF MIN	PF	PF MAX
	W	W	%	%				
13:00	420,00	700	25,32	38,19	1,00	0,99	0,85	0,96
14:00	321,67	600	36,17	47,48	0,99	0,99	0,82	0,96
16:00	463,33	700	30,20	46,76	1,00	1	0,88	0,92
17:00	386,67	500	28,77	40,91	1,00	0,99	0,90	0,94
18:00	329,17	500	42,17	71,39	1,00	0,99	0,76	0,95
19:00	460,83	2100	26,87	42,9	1,00	0,98	0,87	0,95
20:00	468,33	800	34,54	44,15	1,00	1	0,90	0,93
21:00	590,00	1900	41,19	47,6	1,00	0,99	0,88	0,93
22:00	489,17	800	48,00	84,81	0,99	0,98	0,81	0,95

Tabla 22. Resultado de las mediciones en el TD (jueves)

HORA	POTENCIA PROMEDIO	POTENCIA MAX	% THD A PROMEDIO	% THD A MAX	DPF	DPF MIN	PF	PF MAX
	W	W	%	%				
8:00	283,76	500	51,36	91,52	0,99	0,99	0,69	0,95
12:00	297,12	400	20,96	41,32	1,00	0,98	0,81	0,96
18:00	310,71	600	28,42	41,24	0,99	0,93	0,66	0,97
19:00	520,00	1500	24,94	40,64	1,00	0,95	0,83	0,98
21:00	293,33	800	51,24	78,02	1,00	0,93	0,70	0,93
22:00	392,50	500	30,17	37,62	1,00	0,99	0,89	0,94
23:00	307,81	400	22,60	66,33	0,99	0,99	0,80	0,94

Tabla 23. Resultado de las mediciones en el TD (viernes)

HORA	POTENCIA PROMEDIO	POTENCIA MAX	% THD A PROMEDIO	% THD A MAX	DPF	DPF MIN	PF	PF MAX
	W	W	%	%				
7:00	385,71	400	37,44	62,29	0,99	0,99	0,84	0,89
19:00	342,50	600	52,77	98,79	0,99	0,99	0,75	0,95
20:00	442,50	800	18,60	31,66	1,00	0,99	0,90	0,98
21:00	397,50	500	15,12	16,38	1,00	1	0,93	0,96
22:00	480,83	600	22,52	27,78	1,00	1	0,93	0,96

Tabla 24. Resultado de las mediciones en el TD (sábado)

HORA	POTENCIA PROMEDIO	POTENCIA MAX	% THD A PROMEDIO	% THD A MAX	DPF	DPF MIN	PF	PF MAX
	W	W	%	%				
12:00	351,76	1200	39,18	68,67	1,00	0,95	0,58	0,99
15:00	420,41	600	17,73	46,19	1,00	1	0,89	0,96
16:00	392,23	600	17,36	62,02	0,99	0,98	0,81	0,96
19:00	492,50	2100	39,21	69,1	1,00	0,96	0,79	0,94
20:00	399,17	500	45,90	80	1,00	0,99	0,82	0,84
21:00	294,17	400	69,51	77,9	1,00	1	0,74	0,84
22:00	300,83	400	70,78	73,04	1,00	1	0,75	

Tabla 25. Resultado de las mediciones en el TD (domingo)

Resultado de la medición diaria del % THD voltaje

La medición del % THD del voltaje nos indica cómo se distorsiona la forma de onda del voltaje a lo largo del día, esta medición se la realiza como se indica en la Figura 18 y los datos se toman de la Figura 19.

La forma de onda de voltaje distorsionada es la que la Empresa Eléctrica entrega a cada usuario; es importante realizar el análisis a lo largo del día ya que es la mejor forma de saber en qué horarios se incrementan los niveles de contaminación de la onda por causa de los armónicos como se muestra en la siguiente figura.

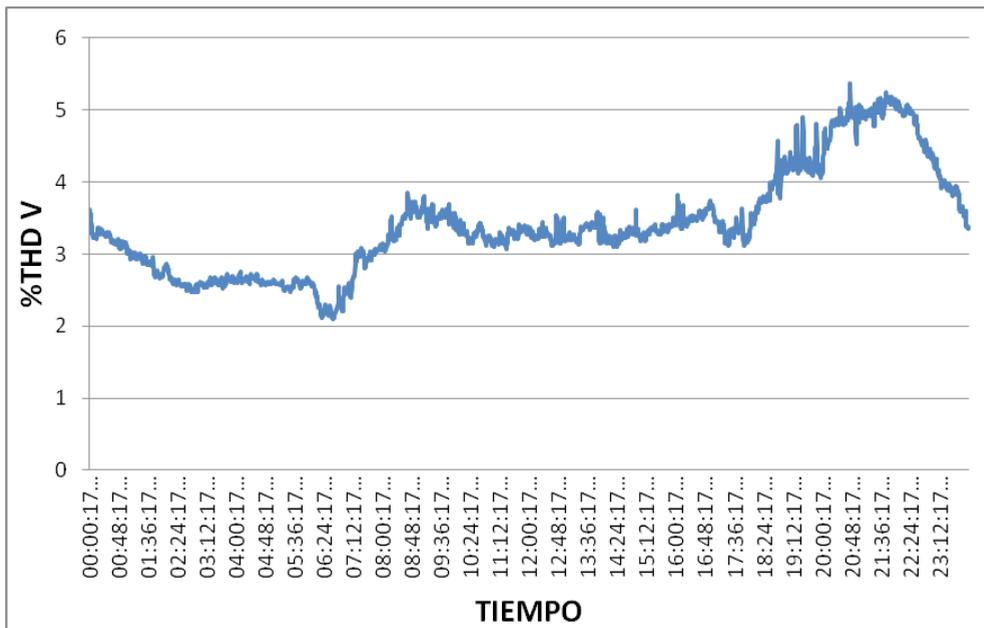


Figura 26. Resultado % THD v en un día de medición

Resultado de la medición del % THDi a los distintos focos ahorradores bajo prueba

La medición del % THDi realizada a cada foco ahorrador bajo prueba, como se muestra en la Figura 20, tiene básicamente el objetivo de observar las características técnicas eléctricas de los mismos, de esa manera se puede ver qué foco ahorrador tiene un mejor diseño electrónico, afectando más o menos la calidad del sistema eléctrico.

En la Tabla 26 se ha ordenado desde el foco ahorrador con menor % THDi hasta el que tiene mayor % THDi, esto nos permite saber qué focos ahorradores tienen mejores características eléctricas.

ITEM	MARCA FOCO AHORRADOR	% THD
1	LFC 22	65,8
2	LFC 21	66,1
3	LFC 10	67,8
4	LFC 3	68,9
5	LFC 23	70,4
6	LFC 17	70,9
7	LFC 24	70,9
8	LFC 26	71,4
9	LFC 11	71,4
10	LFC 9	71,7
11	LFC 28	73,3
12	LFC 15	73,5
13	LFC 13	73,7
14	LFC 19	73,8
15	LFC 6	74
16	LFC 1	74,3
17	LFC 25	74,4
18	LFC 7	74,5
19	LFC 18	74,8
20	LFC 2	76,9
21	LFC 5	77,1
22	LFC 4	77,2
23	LFC 8	77,3
24	LFC 12	77,4
25	LFC 14	78,6
26	LFC 27	78,9
27	LFC 16	80,3
28	LFC 20	81,3

Tabla 26. Resultado de % THDi de focos ahorradores bajo prueba

Resultado de la medición del factor de potencia a los distintos focos ahorradores y equipos electrónicos bajo prueba

Los siguientes resultados son obtenidos de acuerdo a mediciones realizadas a los focos ahorradores bajo prueba y a los distintos tipos de cargas comúnmente presentes en las viviendas, ya sean éstos cargas lineales o no lineales.

Todas las mediciones han sido realizadas con el analizador de calidad de energía Fluke 43B, como se muestra en la Figura 22, y los datos se obtienen de la pantalla del instrumento, como se muestra en la Figura 23.

- **Factor de potencia cargas lineales**

CARGAS LINEALES	FACTOR DE POTENCIA
Refrigeradora	0,75
Lavadora de ropa	0,8
Licuadaora	0,75
Batidora	0,75
Bomba de agua	0,8
Aspiradora	0,75
Etcétera	

Tabla 27. Factor de potencia aproximado de cargas lineales en las viviendas

Factor de potencia equipos electrónicos (cargas no lineales)

ITEM	DESCRIPCIÓN	POTENCIA [W]	PF	DPF
1	PLASMA	240	0,95	0,97
2	MICROONDAS WHIRLPOOL	1760	0,93	1
3	EQUIPO DE SONIDO	21	0,91	0,97
4	TELEVISOR	75	0,73	1
5	IMPRESORA LASER	35	0,7	0,99
6	LCD	115	0,67	1
7	DVD SONY	8	0,64	1
8	CARGADOR LAPTOP	41	0,59	0,97
9	CARGADOR NOKIA	2	0,61	1
10	CABLE MODEM	5	0,56	0,96

Tabla 28. Factor de potencia medido de cargas no lineales en las viviendas

- Factor de potencia focos ahorradores

ITEM	MARCA FOCO AHORRADOR	FP
1	LFC 9	0,66
2	LFC 10	0,63
3	LFC 3	0,62
4	LFC 17	0,61
5	LFC 13	0,61
6	LFC 7	0,61
7	LFC 25	0,6
8	LFC 1	0,6
9	LFC 8	0,58
10	LFC 12	0,57
11	LFC 5	0,57
12	LFC 4	0,57
13	LFC 6	0,57
14	LFC 14	0,56
15	LFC 11	0,56
16	LFC 21	0,56
17	LFC 19	0,55
18	LFC 28	0,55
19	LFC 18	0,55
20	LFC 24	0,55
21	LFC 26	0,55
22	LFC 23	0,55
23	LFC 16	0,54
24	LFC 15	0,54
25	LFC 22	0,54
26	LFC 27	0,53
27	LFC 2	0,52
28	LFC 20	0,52

Tabla 29. Factor de potencia de focos ahorradores bajo prueba

Como se indica en la (f) 21, el factor de potencia es inversamente proporcional al % THDi, esto quiere decir que si aumenta el % THDi va a disminuir el factor de potencia.

La Tabla 29 muestra el resultado de las mediciones del factor de potencia realizado a los distintos tipos de focos ahorradores bajo prueba.

Se han ordenado los resultados de las mediciones de factor de potencia (incluido el contenido armónico) de mayor a menor, esto para poder observar qué lámpara tiene un mayor factor de potencia y cual menor, ya que esto afecta directamente a las empresas eléctricas.

Análisis de resultados

Relación de potencias entre focos ahorradores y focos incandescentes

La relación de potencias está basada en mediciones de potencia y cantidad de iluminación realizadas a focos incandescentes y las lámparas fluorescentes compactas con similar cantidad de iluminación, como se muestra en la Tabla 16.

POTENCIA FOCO AHORRADOR	POTENCIA FOCO INCANDESCENTE	RELACIÓN
[W]	[W]	
P1	P2	P1/P2
20	100	0,2
15	60	0,2

Tabla 30. Comparación de potencia entre focos ahorradores CFL y focos incandescentes para iguales cantidades de iluminación

Como se observa en la Tabla 30, los focos ahorradores tienen una potencia de aproximadamente 1/5 comparada con los focos incandescentes, relación basada en mediciones a luminarias con similar cantidad de iluminación.

Comparación entre los datos de placa y los valores medidos de potencia

Los usuarios de residencias habitacionales generalmente relacionan la potencia con el nivel de iluminación que esperan de la lámpara, pero las mediciones realizadas no permiten observar que los datos proporcionados por el fabricante no siempre

conducen con los valores reales medidos, razón por la cual los usuarios desconfían de los mismos al ver que no alcanzan el nivel de iluminación deseado. En la Tabla 31 se puede observar la relación entre los valores de potencia medidos y los de los datos de placa.

ITEM	FOCO AHORRADOR	MEDICIONES	DATOS DE PLACA	RELACIÓN
		P [W]	P [W]	P_{med}/P_{placa}
1	LFC 7	19	18	1,1
2	LFC 10	20	20	1,0
3	LFC 18	19	20	1,0
4	LFC 13	14	15	0,9
5	LFC 2	19	21	0,9
6	LFC 6	18	20	0,9
7	LFC 1	18	20	0,9
8	LFC 17	12	14	0,9
9	LFC 14	17	20	0,9
10	LFC 16	13	16	0,8
11	LFC 5	16	20	0,8
12	LFC 4	15	20	0,8
13	LFC 8	19	26	0,7
14	LFC 9	16	22	0,7
15	LFC 25	5	7	0,7
16	LFC 3	14	20	0,7
17	LFC 12	16	26	0,6
18	LFC 15	12	20	0,6
19	LFC 28	12	20	0,6
20	LFC 11	14	26	0,5
21	LFC 24	10	24	0,4
22	LFC 19	9	22	0,4
23	LFC 21	12	30	0,4
24	LFC 22	8	20	0,4
25	LFC 23	10	30	0,3
26	LFC 20	12	36	0,3
27	LFC 27	3	9	0,3
28	LFC 26	6	18	0,3

Tabla 31. Comparación entre la potencia medida y la potencia del dato de placa

En la Tabla 31 está muy claramente descrito que un 50% de los focos ahorradores bajo prueba tiene una relación (P_{med}/P_{placa}) menor a 0,7; llegando a ser hasta de 0,3, lo que indica que los datos de placa otorgados por el 50% de los fabricantes está muy por debajo de los valores medidos en los experimentos realizados en este documento.

Análisis de resultados de las pruebas programadas de % THD de corriente y factor de potencia a focos ahorradores y equipos electrónicos (secuencia 1)

Se analizará los resultados obtenidos en el punto de acoplamiento común de la vivienda, que se muestra en la Tabla 17.

De las pruebas realizadas podemos observar que cuando los focos ahorradores se encuentran encendidos hasta que se apagan por completo el % THD va desde 33,1 hasta 35,6 y el factor de potencia, desde 0,91 hasta 0,94; en la prueba 13 cuando se apaga el equipo que menor % THD presentó en la prueba individual, el % THD medido sube a 63,7%, y van en rangos desde 50,3 hasta 65,7% THD, siendo estas medidas casi el doble que cuando se apagó la última lámpara; el factor de potencia también bajo drásticamente 0,76, encontrándose en rangos desde 0,73 hasta 0,76 hasta apagarse todos los equipos.

Las Figuras 27 y 28 muestran gráficamente el comportamiento de las lámparas y los equipos bajo prueba.

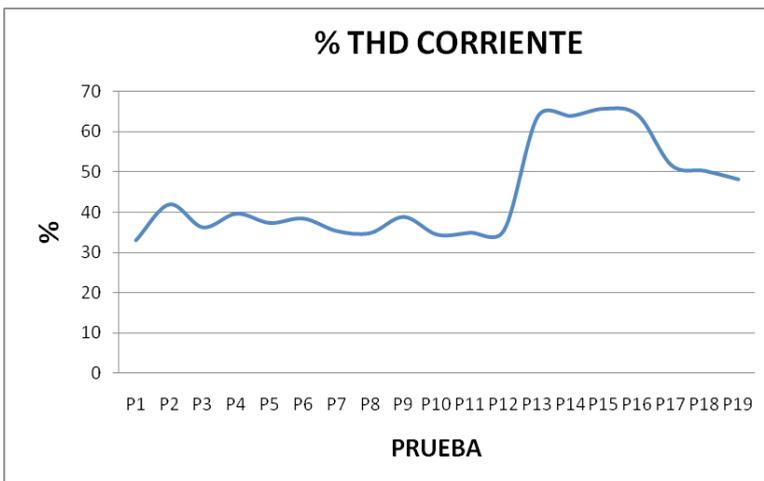


Figura 27. Distorsión armónica total de la corriente en base al secuencia 1

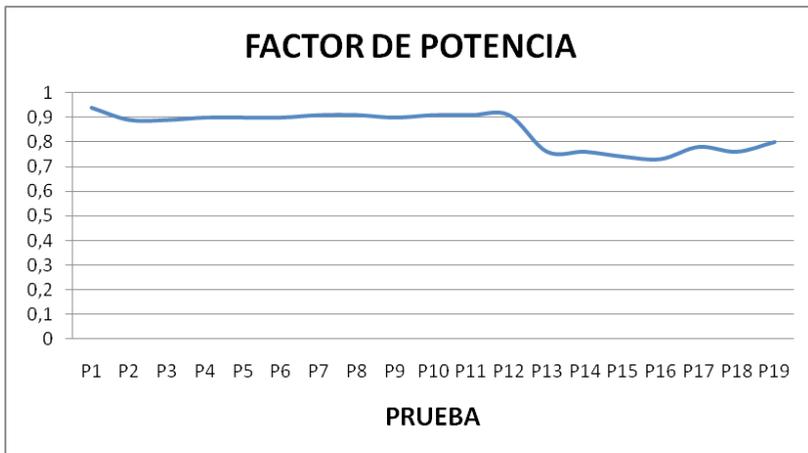


Figura 28. Factor de potencia total en base al secuencia 1

Realizando una breve comparación entre las Figuras 27 y 28 se puede observar muy claramente que el % THDi es inversamente proporcional al factor de potencia, también se observa que el % THDi no varía drásticamente mientras se van apagando las lámparas, ya que aunque éstas presenten un % THDi alto, al ser cargas pequeñas no son representativas en comparación a cargas más grandes como las de un plasma de 42”, que cuando se apaga, como se observa en la Figura 27 entre las P12 y P13, hace que se eleve drásticamente el % THDi y a su vez baje el factor de potencia; esto quiere decir que una carga grande como el plasma de 42”, que en las pruebas realizadas presenta un % THDi bajo en comparación con la de los focos ahorradores que son una carga pequeña, pero la mayoría presentan un % THDi, puede ayudar a mantener un % THDi bajo en el punto de acoplamiento común, en este caso el tablero.

Análisis de resultados de las pruebas programadas de % THD de corriente y factor de potencia a lámparas y equipos electrónicos (secuencia 2)

Con los resultados obtenidos de las pruebas realizadas (secuencia 2) se analizará los resultados obtenidos en el punto de acoplamiento común de la vivienda, que se muestra en la Tabla 18.

De la prueba P1 a la P6, los valores de % THD tienen rangos entre 37,3 a 41,3; al momento de apagar el plasma, el % THD sube drásticamente hasta 66,1, siendo el plasma la segunda mayor carga en potencia después del microondas, pero con menor % THD individual es la carga que hace que el % THD se encuentre en rangos

bajos, cuando se encuentran encendidos solo los focos ahorradores hasta se apagan por completo, el % THD tiene rangos desde 47,7 hasta 67,3.

Podemos observar que todos los focos ahorradores encendidos tienen una potencia de 210 W, y si los comparamos con los equipos electrónicos encendidos que tienen una potencia de 640 W nos da una relación de 1/3 entre focos y equipos, esta relación podría darse en la hora pico.

Las siguientes figuras muestran de una forma gráfica el comportamiento de las lámparas y los equipos bajo prueba.

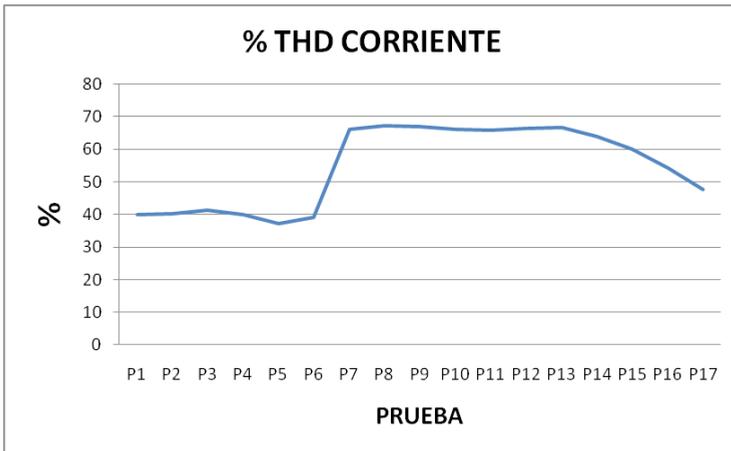


Figura 29. (Distorsión armónica total en base al secuencia2)

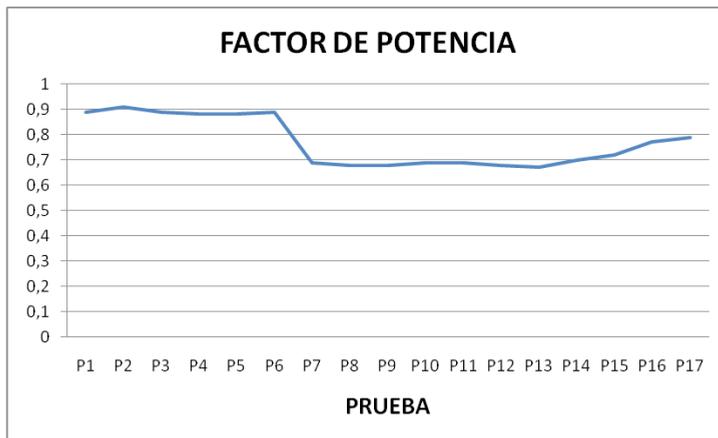


Figura 30. Factor de potencia total en base al secuencia 2

Para el análisis eliminamos el valor más alto y el más bajo de las Tablas 17 y 18, de esa manera se analizará las lámparas que tienen un % THD similar.

La Tabla 32 toma en cuenta solo los resultados, desde que se encuentran encendidos hasta que se apagan por completo los focos ahorradores.

secuencia	% THD MIN	% THD MAX	Diferencia	FP MIN	FP MAX
1	34,5	39,7	5,2	0,89	0,94
2	54,2	66,6	12,4	0,68	0,77

Tabla 32. Análisis de resultados basándose en las 17 y 18 tomando en cuenta únicamente a los focos ahorradores

Del análisis efectuado en las pruebas de la primera y segunda secuencia, tomando en cuenta únicamente a los focos ahorradores, la diferencia entre el % THDi máx. y % THDi mín. es menor en la secuencia 1, como se indica en la Tabla 32, en dicha secuencia la carga total corresponde a la de los focos ahorradores y los distintos equipos electrónicos; en la secuencia 2 la carga total corresponde únicamente a la de los focos ahorradores, siendo esta carga menor.

Esto quiere decir que si la carga aumenta la probabilidad que baje el % THDi es alta, dependiendo de la forma de onda de la corriente de las cargas.

La Tabla 33 toma en cuenta los resultados tan solo desde que se encuentran encendidos hasta que se apagan por completo los equipos electrónicos.

secuencia	% THDi MIN	% THDi MAX	Diferencia	FP MIN	FP MAX
1	50,3	65,7	15,4	0,74	0,78
2	39,2	41,3	2,1	0,88	0,91

Tabla 33. Análisis de resultados basándose en las 17 y 18, tomando en cuenta únicamente a los equipos electrónicos.

Como se puede observar en las pruebas de la primera y segunda secuencia, tomando solo los equipos electrónicos, la diferencia entre el % THDi máx. y % THDi mín. es mayor en la secuencia 1, como se indica en la Tabla 33, en dicha secuencia la carga total corresponde a la de los focos ahorradores y los distintos equipos electrónicos; en la secuencia 2 la carga total corresponde únicamente a la de los equipos electrónicos, siendo esta menor; al igual que la prueba anterior a mayor

carga el % THDi es menor. Esto no es una regla general, se han puesto bajo análisis varios equipos para asumir la carga de un usuario tipo, pudiendo o no cumplirse para otros usuarios que empleen diferentes equipos que pueden afectar de una manera diferente la forma de onda de la corriente.

Se puede comprobar que el % THDi es inversamente proporcional al factor de potencia.

Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas durante 7 días en una vivienda

De los registros obtenidos por el analizador de calidad de energía en el periodo de 7 días se obtuvieron 7 tablas que resumen el comportamiento del sistema eléctrico dentro de la vivienda; se analizará cada una de ellas de forma independiente para después analizar en conjunto los resultados obtenidos.

- **Lunes: análisis de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos el día lunes se encuentran resumidos en la Tabla 19.

En el horario en el que las lámparas se encuentran apagadas el % THDi se encuentra en rangos entre el 20% al 26%, se da un incremento bastante grande a las 8h00 en el que el % THD llegó a 85%.

En el horario que se empiezan a encender las lámparas el % THDi se encuentra en rangos de entre el 21% al 67%, con un valor máximo de 84% a las 22h00; en la medición realizada en el horario de la noche el % THDi es mayor, esto posiblemente sea causado por el aumento del % THDv.

El factor de potencia en la mañana tiene rangos de entre el 0,79 al 0,94 y por la noche del 0,67 al 0,94, siendo estos datos muy similares; estas mediciones dependen de las cargas conectadas ya en la mañana como en la noche y hacen que varíe el % THDi y a su vez el factor de potencia.

- **Martes: análisis de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos el día martes se encuentran resumidos en la Tabla 20.

El % THDi se encuentra en rangos del 24,4% al 42,18%; el porcentaje más alto de THDi se da cuando la potencia es menor, esto se debe a que una o varias cargas con % THDi bajo tienen que haber cambiado el estado de encendido a apagado. El factor de potencia se encuentra en rangos del 0,86 al 0,94, siendo el último valor alto, esto se debe al incremento de cargas lineales o con bajo % THDi en ese intervalo de tiempo.

- **Miércoles: análisis de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos el día miércoles se encuentran resumidos en la Tabla 21.

En el horario en el que las lámparas se encuentran apagadas el % THDi se encuentra en rangos entre 20% - 67%, presentando valores elevados en intervalos cortos de tiempo que dan valores de % THDi hasta de 86%.

En el horario que se empiezan a encender las lámparas el % THDi se encuentra en rangos entre 28% - 47%, con un valor máximo de 78% a las 21h00.

En el horario de la noche el % THDi es muy similar; en la mañana se observa un pico elevado a medio día, este día los focos ahorradores han tenido una influencia poco significativa en el incremento de % THDi introducidos al sistema eléctrico.

El factor de potencia en la mañana tiene rangos entre 0,70 - 1 y por la noche entre 0,74 - 0,90; notándose que el factor de potencia es menor en poca medida en la noche.

- **Jueves: análisis de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos el día jueves se encuentran resumidos en la Tabla 22.

En el horario en el que las lámparas se encuentran apagadas el % THDi se encuentra en rangos entre 25% - 36%.

En el horario que se empiezan a encender las lámparas el % THDi se encuentra en rangos entre 27% - 48%, con base en esta medición se puede decir que en el horario de la noche el % THDi es muy similar en la mañana, los focos ahorradores han tenido una influencia poco significativa en el incremento de armónicos introducidos al sistema eléctrico.

El factor de potencia en la mañana tiene rangos entre 0,82 - 0,9 y por la noche entre 0,76 - 0,90, notándose que el factor de potencia es menor en poca medida en la noche.

- **Viernes: análisis de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos el día viernes se encuentran resumidos en la Tabla 23.

En el horario en el que las lámparas se encuentran apagadas el % THDi se encuentra en rangos entre 21% - 51%.

En el horario que se empiezan a encender las lámparas el % THDi se encuentra en rangos de entre 23% - 51%, a partir de esta medición se puede decir que en el

horario de la noche el % THDi es muy similar al de la mañana; este día no se nota significativamente la influencia de los focos ahorradores en el sistema eléctrico.

El factor de potencia en la mañana tiene rangos de entre 0,69 al 0,81 y por la noche del 0,66 al 0,89 notándose que el factor de potencia es menor en poca medida en la noche.

- **Sábado: análisis de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos el día sábado se encuentran resumidos en la Tabla 24.

En el horario en el que las lámparas se encuentran apagadas el % THDi es aproximadamente 37%.

En el horario que se empiezan a encender las lámparas el % THDi se encuentra en rangos de entre el 15% al 53%, de esta medición se puede decir que en el horario de la noche existen valores de % THDi con variaciones grandes; este día la influencia de los focos ahorradores y demás equipos electrónicos se ve incrementada en el horario de la noche.

El factor de potencia en la mañana es aproximado al 0,84 y por la noche entre el 0,75 al 0,93, notándose que el factor de potencia es menor en poca medida en la noche.

- **Domingo: análisis de los resultados obtenidos**

Los resultados obtenidos el día domingo se encuentran resumidos en la Tabla 25.

En el horario en el que las lámparas se encuentran apagadas el % THDi se encuentra en rangos de entre el 17% al 39%.

En el horario que se empiezan a encender las lámparas el % THD se encuentra en rangos de entre el 39% al 71%, basándonos en esta medición se puede decir que en el horario de la noche existen valores de % THD con variaciones grandes; este día la influencia de los focos ahorradores y demás equipos electrónicos se ve incrementada en el horario de la noche.

El factor de potencia en la mañana tiene rangos del 0,58 al 0,89 y por la noche entre 0,74 al 0,82; notándose que el factor de potencia es menor en poca medida en la mañana.

- **Resumen de los experimentos realizados los 7 días de la semana**

La Tabla 34 muestra un resumen del comportamiento de los focos ahorradores funcionando conjuntamente con los diferentes equipos electrónicos en una vivienda tipo..

	RANGO % THD MAÑANA	RANGO % THD NOCHE	RANGO FP MAÑANA	RANGO FP NOCHE
LUNES	20% - 26%	21% - 67%	0,79 – 0,94	0,67 – 0,94
MARTES	-	24% - 42%	-	0,86 – 0,94
MIÉRCOLES	20% - 67%	28% - 47%	0,7 – 1	0,74 – 0,9
JUEVES	25% - 36%	27% - 48%	0,82 – 0,9	0,76 – 0,9
VIERNES	21% - 51%	23% - 51%	0,69 – 0,81	0,66 – 0,89
SÁBADO	37%	15% - 53%	0,84	0,75 – 0,93
DOMINGO	17% - 39%	39% - 71%	0,58 – 0,89	0,74 – 0,82

Tabla 34. Resumen del análisis eléctrico realizado los 7 días de la semana

El % THD tanto en la mañana como en la noche tiene valores similares, con incrementos poco significativos en la noche, lo cual muestra que el incremento de armónicos en el sistema eléctrico no depende únicamente de la presencia de focos ahorradores, sino de la presencia conjunta de focos ahorradores y de equipos electrónicos.

De igual manera, el factor de potencia disminuye en el horario nocturno pero esto no es consecuencia únicamente de la presencia de focos ahorradores, sino del incremento de uso de equipos (en comparación con el horario matutino), funcionando en conjunto con el uso de focos ahorradores.

Análisis resultados pruebas de la distorsión armónica de voltaje % THDv

El comportamiento del % THDv es muy similar todos los días de la semana, en la Figura 26 se evidencia que posee valores en la mañana alrededor del 3%, y en la hora pico dichos valores se incrementan hasta aproximadamente el 6% THDv, por ende la calidad de energía eléctrica es menor en la noche, debido al incremento de la carga electrónica, incluyendo los focos ahorradores en ese horario.

Análisis y resultados de mediciones individuales a focos ahorradores y equipos electrónicos

- Análisis de los resultados de las pruebas de armónicos de corriente % THD A y factor de potencia a los focos ahorradores

El análisis del % THDi de los focos ahorradores que se ocupan normalmente en una vivienda demuestra que los valores se encuentran en rangos de entre el 65,8%

hasta el 81,3%; estos datos han sido tomados independientemente a cada lámpara, no en un punto de acoplamiento común, esta medida nos permite establecer un requerimiento mínimo de los mismos, por cuanto no es tomado en cuenta en la normativa RTE INEN 036:2008, “Eficiencia energética lámparas fluorescentes compactas. Rangos de desempeño energético y etiquetado”.

El factor de potencia debe encontrarse en los límites que serán analizados en la sección que trata acerca del establecimiento de una norma mínima requerida por los focos ahorradores, para tener valores aceptables del % THDi, en esta sección se clasificará a las lámparas por los rangos del % THDi en el que se encuentren, la clasificación es hecha basándose en la Tabla 26, donde el color del recuadro de los focos ahorradores corresponde al rango de la clasificación de la Tabla:

CLASIFICACIÓN	RANGO
	$65 \leq \% \text{ THD} < 70$
	$70 \leq \% \text{ THD} < 75$
	$75 \leq \% \text{ THD} < 80$
	$\% \text{ THD} \geq 80$

Tabla 35. Clasificación del rango del % THD i de las lámparas bajo prueba

De igual manera, al analizar la Tabla 26, se determina que la mayor cantidad de lámparas se encuentran en el rango $70 \leq \% \text{ THD} < 75$.

Bajo el mismo criterio de la medición anterior se ha clasificado a los focos ahorradores por el valor del factor de potencia de los mismos; la clasificación es hecha en base a la Tabla 29, donde el color del recuadro de los focos ahorradores corresponde al rango de la clasificación de la Tabla 36:

CLASIFICACIÓN	RANGO
	$FP \geq 0,6$
	$0,56 \leq \% \text{ THD} < 0,58$
	$FP = 0,55$
	$0,52 \leq \% \text{ FP} < 0,55$

Tabla 36. Clasificación del rango del factor de potencia de las lámparas bajo prueba

Es importante mencionar que los límites del factor de potencia se encuentran normalizados por la norma RTE INEN 036:2008, “Eficiencia energética. Lámparas

fluorescentes compactas rangos de desempeño energético y etiquetado”. Esta norma establece lo siguiente:

“El factor de potencia mínimo aceptable para las lámparas compactas con balasto integrado debe ser de $0,5 \pm 0,05$.

Cuando una lámpara integrada es declarada por el fabricante como de alto factor de potencia, este no debe ser menor que $0,92 \pm 0,05$ ” (Norma RTE INEN 036, 2008: 8).

A través del presente estudio evidenciamos que todas las lámparas se encuentran en los límites establecidos por la norma. Dentro de la variedad de marcas algunas presentan valores mucho más elevados que otras, consecuentemente se precisa que la diferencia entre las lámparas con mayor y menor factor de potencia es de 0,14, siendo este un valor elevado teniendo en consideración que el mayor factor de potencia al que se puede llegar es la unidad.

- Análisis de los resultados de las pruebas de armónicos de corriente % THD A y factor de potencia a los equipos electrónicos

En la Tabla 32 se presenta el resultado de las mediciones realizadas a los distintos equipos electrónicos, se puede observar que los que menor % THD presentan son el plasma con 19,1: 3l microondas con 30, y el equipo de sonido con 36,6, se debe considerar que estos valores pueden cambiar dependiendo del fabricante; los demás equipos electrónicos analizados cuentan con valores entre 68 y 79,7%, que son rangos muy similares a los observados en los focos ahorradores, en cuanto al factor de potencia de los equipos va desde 0,56 hasta 0,95.

Lo que indica que los focos ahorradores y demás equipos electrónicos presentan características eléctricas muy similares en lo que se refiere a los parámetros de armónicos y factor de potencia.

Es importante tomar en cuenta que un LCD o algún otro equipo electrónico de alrededor de 100 W equivalen a colocar 5 focos ahorradores, pero ambos presentan mediciones similares de factor de potencia y de % THD i.

De los focos evaluados en esta investigación, presentan un mayor factor de potencia los que provienen de Panamá, Alemania, Holanda, Vietnam y EE.UU., y los de menor factor de potencia proceden de Indonesia, Argentina y origen desconocido, sin embargo, los procedentes de China se encuentran en ambas clasificaciones.

De los focos bajo prueba los que presentan mayor % THDi son de Indonesia, Argentina y origen desconocido.

El 30% de los focos ahorradores bajo prueba no especifica en la placa su país de procedencia.

Análisis de resultados de los niveles de iluminación de los focos ahorradores bajo prueba

De acuerdo a las mediciones realizadas a las distintas marcas de focos ahorradores se puede comprobar que el nivel de iluminación de aproximadamente el 51% de las lámparas bajo prueba tiene valores similares a los medidos a las lámparas incandescentes. Esto no quiere decir que el 49% de las lámparas no cumple con los niveles de iluminación requeridos sino que tienen una potencia baja y no hay como compararlos con los focos incandescentes típicos de 60 y 100 W, no obstante, vale la pena mencionar que los datos de placa de algunas lámparas que se encuentran en ese 49% no corresponden de ninguna manera a los valores medidos de las mismas.

En cuanto a la eficiencia, se ha determinado que el 70% de los focos ahorradores bajo prueba tienen valores altos, esto quiere decir que se los puede utilizar en viviendas residenciales, tomando en cuenta los niveles de iluminación de las mismas; el 30% restante tiene una eficiencia baja, razón por la cual no se recomienda su uso, ya que la intención del uso de focos ahorradores es tener una eficiencia mucho mayor para de esta manera disminuir el consumo nacional.

Establecimiento de una norma mínima requerida por los focos ahorradores

Para establecer una normativa mínima de los focos ahorradores se utilizarán criterios y conceptos establecidos por las siguientes entidades:

- Empresa Eléctrica Quito S.A.
- CONELEC.
- INEN.
- IEEE.

Además se tomará en cuenta las mediciones realizadas para llegar a algún parámetro que no se encuentre normalizado aún.

Los factores tomados en cuenta para la normalización son los siguientes:

- Eficiencia de la cantidad de iluminación en [LUX/W].
- Factor de potencia.
- Distorsión armónica total de la corriente en %.
- Conformidad de los datos de placa descritos por el fabricante.

Normativa de la cantidad de iluminación en [LUX]

La Empresa Eléctrica Quito para obtener el cálculo de la iluminación general de una vivienda multiplica el área de construcción (m^2) por $20 W/m^2$, este resultado indica que se debe colocar $20W$ por cada metro cuadrado de construcción, esta norma es apropiada, ya que en las pruebas realizadas en una habitación, los niveles de iluminación medidos concuerdan con los datos de tablas de iluminación de la WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, sin embargo, los $20 W/m^2$ se fundamentan en lámparas incandescentes, por esa razón a este valor se lo multiplica por la relación $1/5$ que es el aproximado de la relación entre focos incandescentes y ahorradores de energía, el resultante de esta operación es $5 W/m^2$.

La cantidad de iluminación de un foco incandescente de $100W$ es $89 LUX$ medidos, razón por la cual los focos ahorradores cuya placa especifique potencia de $20 W \pm 10\%$ deben tener una cantidad de iluminación semejante a $89 [LUX] \pm 10\%$ que es la de un foco incandescente de $100W$.

En el caso estudiado, el nivel mínimo de iluminación sería aproximadamente $80 [LUX]$.

En tanto a la cantidad de iluminación de un foco incandescente de $60W$ corresponde aproximadamente $80 LUX$ medidos, por tanto las lámparas en las cuales el fabricante estipula que su potencia es de $12 W \pm 10\%$ deben tener una cantidad de iluminación no menor al 10% de $80 [LUX]$ que es la de un foco incandescente de $60W$.

El nivel mínimo de iluminación en este caso sería aproximadamente $72 [LUX]$.

En la Tabla 37 se puede distinguir las lámparas que se asemejan y las que no a los niveles de iluminación que proporcionan las lámparas incandescentes.

Se establece que las lámparas deben cumplir con lo asociado en la placa, porque el usuario relaciona siempre potencia con cantidad de iluminación, aunque después de realizadas las mediciones se puede comprobar que algunos fabricantes tienen en la placa declarado un consumo mucho mayor al real y como consecuencia los niveles de iluminación son relativamente bajos en comparación a los niveles de iluminación que proporcionan los focos incandescentes.

La Tabla 37 está basada en los datos de placa especificados por el fabricante, en donde se puede observar que varias lámparas no cumplen con la normativa establecida en este documento, puesto que incorporan en la placa datos que son contrarios a la realidad.

Según los datos de la placa de las lámparas bajo prueba, las siguientes lámparas cumplen o no con la norma establecida.

Es menester tomar en cuenta que para reemplazar las lámparas incandescentes por focos ahorradores en las viviendas, los mismos deben tener niveles de iluminación semejantes a los focos incandescentes de 100W y 60.

La Tabla 37 muestra con un OK los focos que tienen un nivel de iluminación adecuado y con una X los que no lo tienen.

ITEM	LÁMPARA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	POTENCIA	OBSERVACIONES
		LUX	W	
1	LFC (1)	98,25	20	OK
2	LFC (2)	87,00	21	OK
3	LFC (3)	85,00	20	OK
4	LFC (4)	84,96	20	OK
5	LFC (5)	84,69	20	OK
6	LFC (6)	84,51	20	OK
7	LFC (7)	83,61	18	OK
8	LFC (8)	82,89	26	OK
9	LFC (9)	82,44	22	OK
10	LFC (10)	80,17	20	OK
11	LFC (11)	75,51	26	X
12	LFC (12)	75,33	26	X
13	LFC (13)	73,89	15	OK
14	LFC (14)	72,50	20	X
15	LFC (15)	68,22	20	X
16	LFC (16)	63,09	16	X
17	LFC (18)	53,10	20	X
18	LFC (17)	55,89	14	X
19	LFC (19)	51,57	22	X
20	LFC (20)	41,40	36	X
21	LFC (21)	30,06	30	X
22	LFC (22)	29,88	20	X
23	LFC (23)	29,70	30	X
24	LFC (24)	27,45	24	X
25	LFC (25)	25,83	7	-
26	LFC (26)	16,47	18	X
27	LFC (27)	11,16	9	X

Tabla 37. Cumplimiento de la normativa de niveles de iluminación de los focos ahorradores bajo prueba

Se puede observar que el 58% de los focos ahorradores no cumplen con la normativa del nivel de iluminación necesario para poder reemplazar a los focos incandescentes declarado por el fabricante.

La eficiencia en las lámparas es muy importante. En este caso va a ser tomada en cuenta con los valores medidos de potencia y de cantidad de iluminación, que es la mejor manera de determinar la eficiencia de las lámparas,

Como se puede observar en la Tabla 39 hay lámparas que son muy eficientes, y mucho más en comparación con los focos incandescentes cuya eficiencia se detalla en la Tabla 38:

ITEM	LÁMPARA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	POTENCIA MEDIDA	EFICIENCIA
		LUX	W	LUX/W
1	INCANDESCENTE 100W	89,00	100	0,89
2	INCANDESCENTE 60W	80,00	60	1,33

Tabla 38. Eficiencia de los focos incandescentes convencionales

Normativa de la eficiencia de la en [LUX/W]

Para la normalización de la eficiencia se utilizarán los datos de cantidad de iluminación adquiridos en una habitación como se muestra en la Figura 25, la misma que debe ser mayor que la de los focos incandescentes en 5 veces \pm un 10%; se utilizará la siguiente ecuación para determinar los valores requeridos:

$$Eficiencia = (0,89 * 5) \pm 10\%$$

$$Eficiencia = (4,45) \pm 10\%$$

$$Eficiencia \text{ mín} = 4 \left[\frac{LUX}{W} \right]$$

Esos valores de eficiencia son la clave para diseños modernos de ingeniería en el campo de la iluminación, ya que se puede crear combinaciones de lámparas para cumplir con los niveles de iluminación requeridos.

En la Tabla 39 se especifica los diversos tipos de lámparas y el nivel de eficacia alcanzado en relación a las exigencias de la normativa respectiva, se marca con un OK las que cumplen y con una X las que no.

ITEM	LÁMPARA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	POTENCIA MEDIDA	EFICIENCIA	OBSERVACIONES
		LUX	W	LUX/W	
1	LFC (3)	85,00	14	6,07	OK
2	LFC (19)	51,57	9	5,73	OK
3	LFC (15)	68,22	12	5,69	OK
4	LFC (4)	84,96	15	5,66	OK
5	LFC (1)	98,25	18	5,46	OK
6	LFC (11)	75,51	14	5,39	OK
7	LFC (5)	84,69	16	5,29	OK
8	LFC (13)	73,89	14	5,28	OK
9	LFC (25)	25,83	5	5,17	OK
10	LFC (9)	82,44	16	5,15	OK
11	LFC (16)	63,09	13	4,85	OK
12	LFC (12)	75,33	16	4,71	OK
13	LFC (6)	84,51	18	4,70	OK
14	LFC (17)	55,89	12	4,66	OK
15	LFC (2)	87,00	19	4,58	OK
16	LFC (7)	83,61	19	4,40	OK
17	LFC (8)	82,89	19	4,36	OK
18	LFC (14)	72,50	17	4,26	OK
19	LFC (10)	80,17	20	4,01	OK
20	LFC (22)	29,88	8	3,74	X
21	LFC (27)	11,16	3	3,72	X
22	LFC (20)	41,40	12	3,45	X
23	LFC (23)	29,70	10	2,97	X
24	LFC (18)	53,10	19	2,79	X
25	LFC (24)	27,45	10	2,75	X
26	LFC (26)	16,47	6	2,75	X
27	LFC (21)	30,06	12	2,51	X

Tabla 39. Cumplimiento de la recomendación de eficiencia de las LFC bajo prueba

Normativa factor de potencia

Esta normativa se encuentra determinada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, la normativa es la siguiente:

“El factor de potencia mínimo aceptable para las lámparas compactas con balasto integrado debe ser de $0,5 \pm 0,05$.

Cuando una lámpara integrada es declarada por el fabricante como de alto factor de potencia, este no debe ser menor que $0,92 \pm 0,05$ ” (RTE INEN 036: 2008, 8).

Esta normativa va a ser acogida para el presente estudio.

Todas las lámparas bajo prueba cumplieron con esta normativa, unas con bastante holgura y otras con valores muy cercanos al mínimo establecido por la norma.

Normativa % THD de la corriente

Para poder normalizar los requerimientos mínimos del % THDi de los focos ahorradores se tomaran en cuenta básicamente los resultados que se muestran en la Tabla 29.

Para poder normalizar el % THDi de las lámparas, se utilizará la norma RTE INEN 036: 2008, en donde se normaliza el valor del factor de potencia; como se conoce que el valor del factor de potencia se debe encontrar en rangos de entre el $0,55 \pm 0,05$ con una tolerancia del 10%, se empleará a las lámparas que tienen valores de factor de potencia de 0,55, en las mismas se encontrará un valor de la relación $\frac{\% \text{THDi}}{\text{FP}}$, después se tomará el valor medio de todos los valores, este valor se lo multiplicará por el factor de potencia y se obtendrá el valor de % THDi medio, y para efecto de la norma se tomará como valor máximo el % THDi medio sumado de un porcentaje que no sea mayor al 10% del mismo.

LÁMPARA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	POTENCIA	EFICIENCIA	% THD I	FP	$\frac{\% \text{THDi}}{\text{FP}}$
	LUX	W	LUX/W			
LFC (18)	53,10	20	2,66	74,80	0,55	1,36
LFC (19)	51,57	22	2,34	73,80	0,55	1,34
LFC (23)	29,70	30	0,99	70,40	0,55	1,28
LFC (24)	27,45	24	1,14	70,90	0,55	1,29
LFC (26)	16,47	18	0,92	71,40	0,55	1,30
LFC (28)				73,30	0,55	1,33

Tabla 40. Relación entre % THD y FP

$$\frac{\% THDi}{FP} prom = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\% THDi}{FP} prom}{n}$$

$$\frac{\% THDi}{FP} prom = 1,32$$

$$\% THDi = 1,32 \times 0,55 \times 100$$

$$\% THDi = 72,6 + 10\%$$

$$\% THD imax = 79,86\%$$

La Tabla 41 marca con un OK las lámparas que cumplen y con una X las que no cumplen con la normativa descrita.

ITEM	MARCA FOCO AHORRADOR	% THDi	OBSERVACIONES
1	LFC 22	65,8	OK
2	LFC 21	66,1	OK
3	LFC 10	67,8	OK
4	LFC 3	68,9	OK
5	LFC 23	70,4	OK
6	LFC 17	70,9	OK
7	LFC 24	70,9	OK
8	LFC 26	71,4	OK
9	LFC 11	71,4	OK
10	LFC 9	71,7	OK
11	LFC 28	73,3	OK
12	LFC 15	73,5	OK
13	LFC 13	73,7	OK
14	LFC 19	73,8	OK
15	LFC 6	74	OK
16	LFC 1	74,3	OK
17	LFC 25	74,4	OK
18	LFC 7	74,5	OK
19	LFC 18	74,8	OK
20	LFC 2	76,9	OK
21	LFC 5	77,1	OK

ITEM	MARCA FOCO AHORRADOR	% THDi	OBSERVACIONES
22	LFC 4	77,2	OK
23	LFC 8	77,3	OK
24	LFC 12	77,4	OK
25	LFC 14	78,6	OK
26	LFC 27	78,9	OK
27	LFC 16	80,3	X
28	LFC 20	81,3	X

Tabla 41. Cumplimiento de la recomendación de % THDi

Efectivamente, la mayoría de las lámparas cumplen con lo estipulado en la normativa pertinente, salvo dos de las lámparas analizadas.

Conformidad de los datos de placa descritos por el fabricante

Los datos de la placa y de la envoltura deben ser reales. Los usuarios al momento de adquirir la lámpara lo primero que hacen es ver las características de las mismas, y por lo general relacionan la potencia del foco ahorrador con la cantidad de iluminación que esperan éste entregue, por lo general un foco ahorrador de 20W es relacionado con uno de 100W incandescente, pero en las pruebas realizadas a distintas lámparas se puede observar que la potencia consumida por las lámparas es en algunos casos hasta tres veces menor que la especificada por el fabricante, por ende su nivel de iluminación es bajo.

Tener los datos reales de las lámparas hace que el ingeniero eléctrico pueda realizar proyectos de iluminación, tomando en cuenta las características reales de las mismas, y de esa manera ocupar las más eficientes.

En la norma RTE INEN 036:2008 se han normalizado algunos aspectos de los datos que deben ir en la envoltura de la lámpara, los aspectos son los siguientes:

- Marca del fabricante.
- Potencia (W).
- Voltaje (V).
- Flujo luminoso (lm).
- Eficacia en lúmenes por watt (lm/W).
- Vida nominal declarada por el fabricante en horas.

Este listado hay que mejorarlo incorporándole el factor de potencia y la cantidad de iluminación en [lux] (en una determinada área, además cambiando las unidades de la eficacia a (lux/W), esto debido a que la mayoría de textos de luminotecnia tienen la normativa de la cantidad de iluminación que necesitan las viviendas en lux, esta medida además debe tener en cuenta la norma de la EEQSA que dice: la cantidad de iluminación es de 20W/m² esto en el caso de utilizar focos incandescentes, por ende sería 5W/m² si se utilizan focos ahorradores.

La misma norma dice que “el valor de potencia medida bajo ensayo no debe variar más de 15 % de la potencia declarada” (RTE INEN 036:2008, 8).

Tomando en cuenta esa consideración se han tabulado los rangos en que podrían variar la potencia de la lámpara con base en los datos declarados por el fabricante.

POTENCIA (W)	RANGOS DE VARIACIÓN DE LA POTENCIA (W)
7	(5,95 – 8,05)
9	(7,65 – 10,35)
14	(11,9 – 16,1)
15	(12,75 – 17,25)
16	(13,6 – 18,4)
18	(15,3 – 20,7)
20	(17 – 23)
21	(17,85 – 24,14)
22	(18,7 – 25,3)
24	(20,4 – 27,6)
26	(22,1 – 29,9)
30	(25,5 – 34,5)
36	(30,6 – 41,4)

Tabla 42. Rangos normalizados de variación de potencia

La Tabla 43 muestra que lámparas de las que han sido analizadas cumplen con el valor de potencia especificado en la placa.

ITEM	LÁMPARA	P PLACA	P MEDIDA	EFICIENCIA MEDIDA	CANTIDAD DE ILUMINACIÓN	OBSERVACIONES
		W	W	LUX/W	LUX	
1	LFC (3)	20	14	6,07	85,00	X
2	LFC (19)	22	9	5,73	51,57	X
3	LFC (15)	20	12	5,69	68,22	X
4	LFC (4)	20	15	5,66	84,96	X
5	LFC (1)	20	18	5,46	98,25	OK
6	LFC (11)	26	14	5,39	75,51	X
7	LFC (5)	20	16	5,29	84,69	X
8	LFC (13)	15	14	5,28	73,89	OK
9	LFC (25)	7	5	5,17	25,83	X
10	LFC (9)	22	16	5,15	82,44	X
11	LFC (16)	16	13	4,85	63,09	X
12	LFC (12)	26	16	4,71	75,33	X
13	LFC (6)	20	18	4,70	84,51	OK
14	LFC (17)	14	12	4,66	55,89	OK
15	LFC (2)	21	19	4,58	87,00	OK
16	LFC (7)	18	19	4,40	83,61	OK
17	LFC (8)	26	19	4,36	82,89	X
18	LFC (14)	20	17	4,26	72,50	OK
19	LFC (10)	20	20	4,01	80,17	OK
20	LFC (22)	20	8	3,74	29,88	X
21	LFC (27)	9	3	3,72	11,16	X
22	LFC (20)	36	12	3,45	41,40	X
23	LFC (23)	30	10	2,97	29,70	X
24	LFC (18)	20	19	2,79	53,10	OK
25	LFC (24)	24	10	2,75	27,45	X
26	LFC (26)	18	6	2,75	16,47	X
27	LFC (21)	30	12	2,51	30,06	X

Tabla 43. Cumplimiento de los rangos normalizados de potencia

Se puede observar que la mayoría de lámparas no cumplen con esta normativa, los ítems señalados en color verde se encuentran entre las más eficientes, tomando en cuenta los valores medidos, el caso más notorio es con la lámpara de marca LFC (3) que no cumple con esta disposición, pero tiene un bajo consumo de potencia de 14W, uno de los valores más alto en cantidad de iluminación de 85 LUX y la mejor eficiencia de 6,07 LUX/W.

CONCLUSIONES



- El voltaje que la Empresa Eléctrica entrega a los usuarios tiene distorsión, esta distorsión en las horas pico es mayor que la recomendada por la IEEE del 5%, pero está por debajo del límite que establece el CONELEC del 8%, y durante las otras horas del día las distorsiones están dentro de las dos normalizaciones.
- El 60% de los focos ahorradores de 20W bajo prueba no cumple con los requerimientos mínimos de cantidad de iluminación de 80[lux], y su consumo de energía es menor que el especificado por el fabricante. Si bien el bajo consumo de energía eléctrica beneficia al usuario, no se compensa con lo más importante que es tener un nivel de iluminación adecuado.
- El 22% de la carga no lineal de la vivienda bajo prueba pertenece a los focos ahorradores, el restante 78% pertenece a los diferentes equipos electrónicos y ambos presentan mediciones de % THDi y factor de potencia similar, por lo tanto la afectación al sistema eléctrico es menor por los focos ahorradores que por los equipos electrónicos.
- Todos los focos ahorradores analizados cumplen con el requerimiento mínimo de factor de potencia de 0,5; sin embargo, el 21% de estos focos está en el límite.
- El 10% de los focos ahorradores bajo prueba no cumple con los valores mínimos requeridos de % THDi de 79,86%.
- Los requerimientos técnicos y constructivos mínimos obtenidos de los cálculos y las mediciones efectuados a los focos ahorradores bajo prueba son: cantidad de iluminación mínima de 80 [lux], eficiencia mayor a 4[lux/W], % THDi menor que 79,86%, factor de potencia mayor o igual a 0,5; y que el dato de la placa sea igual al que se obtiene de las mediciones.
- El 66% de los focos ahorradores bajo prueba presenta datos de placa con valores de potencia, eficiencia y cantidad de iluminación menores a los valores reales obtenidos de las mediciones.
- El 30% de los focos ahorradores bajo prueba no especifica en la placa su país de procedencia.

RECOMENDACIONES:



- Se recomienda al CONELEC revisar la pertinencia de su normativa respecto al % THDv que establece un valor mayor al determinado por la IEEE.
- En vista que un gran porcentaje de focos ahorradores no cumple con los requerimientos de cantidad de iluminación, eficiencia, factor de potencia y % THDi, se recomienda al INEN y al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable normalizar estos parámetros y realizar un control exhaustivo de los valores medidos comparados con los de la placa, para garantizar la calidad de los focos ahorradores que ingresan al país.
- Debido a que un porcentaje alto de focos ahorradores no tiene en la placa especificada su procedencia, se recomienda al INEN y al Ministerio de Electricidad y Energía renovable normalizar que la procedencia del foco ahorrador este escrita en la placa.

BIBLIOGRAFÍA



Textos y folletos

- BALSECA, Milton. *Programa de ahorro de energía Ecuador*, México 10 -08 – 2000.
- CIVANTOS, Ángel. “*Armónicos: definición y estudio basado en caso práctico. minimización coste energía*”, Master universitario en mantenimiento industrial y técnicas de diagnóstico, 2011.
- CONELEC, *REGULACION No. – 004/01 “Calidad del servicio eléctrico de distribución”*, Quito, 2001.
- Dr. Liceaga No. 12-D, Col. Doctores, “Nota técnica sobre distorsión armónica”, México, D.F., C.P. 06720
- EMPRESA ELÉCTRICA QUITO, *Normas para sistemas de distribución parte A guía para diseño*, Quito 31 de marzo de 2009, p.152
- EDMINISTER, Joseph. *Circuitos Eléctricos*, 1era edición, España: McGRAW-HILL, 2005.
- ENRÍQUEZ, Harper. *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*, 2da edición, México, 2006.
- FINK, Donald. *Manual de Ingeniería Eléctrica*, 1era edición, México: editorial Interamericana de México, 1996.
- HAYT William, “*Análisis de circuitos en ingeniería*”, 7ma edición, México: Editorial Mcgraw-hill, 2007.
- HOFMANN Harald y GANSLANDT Rüdiger, *Manual - Cómo planificar con luz*, 1era edición, Barcelona: editorial Bertelsmann International.
- IEEE 519 - 1992, *Recomendaciones Prácticas y Requerimientos de la IEEE para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Potencia*, New York, 101.

- INEN, norma 036:2008, *Eficiencia energética. Lámparas fluorescentes compactas. Rangos de desempeño energético y etiquetado*, Quito, primera edición, 16 y 22 de febrero y el 5 de marzo de 2008, 17.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
- OREJUELA, Víctor, “Identificación del nivel óptimo del empleo de focos ahorradores en las instalaciones domésticas de abonados residenciales”, XXIV
- OSRAM, *Guía técnica Economical long-life light sources with plug-in bases*, 1era edición.
- PAISAN, Pablo. *Etiquetado de Eficiencia Energética*, IRAM-Dirección de Normalización.
- RAHID Muhammad, *Electrónica de potencia*, 2da edición, México: editorial Sherley McGuire, México, 1993.
- ROSAS, Mujal. *Tecnología eléctrica*, 1era edición, Editorial UPC, ISBN: 8483017164, 2009
- SANZ SERRANO, José Luis y otros, *Técnicas y procesos en las instalaciones eléctricas de media y baja tensión*, 5ta edición, Editorial Paraninfo, 2006.
- SEMINARIO NACIONAL DEL SECTOR ELÉCTRICO, Santo Domingo 22, 23 y junio de 2009.
- UNE, NORMA ESPAÑOLA 124641 (AENOR), *Iluminación en lugares de trabajo*, noviembre 2002.
- WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, *Manual de alumbrado*, 1era edición, Argentina: editorial PUA, 1962.

Referencias electrónicas

- http://www.asifunciona.com/electronica/af_cfl/af_cfl_2.html. (10 de marzo de 2010).
- BRUGNONI, Mario. *Los componentes armónicos de la demanda y sus efectos sobre las redes de distribución eléctrica*, <http://ingeborda.com.ar/biblioteca/Biblioteca%20Internet/Articulos%20Tecnicos%20de%20Consulta/Calidad%20de%20Energia%20y%20Armonicos/Armonicos/Armonicos%20en%20Redes%20de%20BT.pdf>, febrero 2010.
- ESPINOZA, Daniel. *Contaminación armónica producida por las lámparas fluorescentes compactas*, <http://www.ejournal.unam.mx/ict/vol1102/ICT001100206.pdf>.

- GARCÍA ÁLVAREZ, José Antonio. *ASÍ FUNCIONAN LAS LÁMPARAS AHORRADORAS CFL*, 10 de marzo de 2010, <http://www.asifunciona.com/electronica/af_cfl/af_cfl_2.html>.
- LASZLO, Carlos. *Manual de Luminotecnia para interiores*, <http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/manuais/manual_de_luminotecnia_carlos_laszlo.pdf>. 3 de marzo de 2010>.
- TELLEZ, Eugenio. *Automatización, productividad y calidad*, <<http://www.watery-mex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Calidad%20de%20la%20Energia.pdf>>, enero 2010>.