

# Análisis Energético de Iluminación LED Residencial

Simbaña, Gabriel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Tecnológico de Tecnologías Apropriadadas INSTA, Quito, Ecuador

**Resumen:** El objeto de este documento es mostrar el comportamiento eléctrico que presenta la energía eléctrica cuando se utiliza luces LED, si bien, el tipo de iluminación permite un consumo reducido de energía, también introduce a la red eléctrica ciertas variables que afectan a las demás cargas conectadas a ellas, generando comportamientos inestables en su funcionamiento. En la presente revisión, se muestra las variables más notorias que afectan al sistema energético con sus respectivas cargas y las consideraciones a tomarse en cuenta al implementar la iluminación LED.

**Palabras clave:** Iluminación LED, Análisis energético, armónicos, instalación lámparas LED, energía eléctrica.

## Energy Analysis of Residential LED Lighting

**Abstract:** The purpose of this document is to show the electrical behavior of electric energy when using LED lights, although it is true that this type of lighting allows reduced energy consumption, it also introduces certain variables that affect others loads connected to them generating unstable behaviors in their operation. This research shows the most notable variables that affect the energy system with their respective loads and the considerations to be taken into account when implementing LED lighting.

**Keywords:** LED lighting, Energy analysis, harmonics, installation LED lamps, electric power.

### INTRODUCCIÓN

Actualmente en nuestro país se ha visto notablemente la introducción de varios tipos de iluminación en el sector residencial con el fin de reemplazar a las lámparas incandescentes cuyo consumo era considerable mostrando una baja eficiencia. Son varios los tipos de iluminación que han ido sustituyendo a las mencionadas lámparas y han dependido en gran parte del avance tecnológico, que en corto tiempo nos ha permitido contar con varias opciones como los tubos fluorescentes, que en primera instancia brindaban el mismo flujo lumínico con menor potencia activa, posteriormente se introdujo en el mercado los focos ahorradores, un modelo de lámpara compacta fluorescente (LCF) en forma de espiral, los mismos que pueden ser conectados en la misma boquilla de las lámparas incandescentes sin ninguna clase de adaptaciones adicionales. En la actualidad gracias a los constantes avances tecnológicos se presenta la iluminación por diodos emisores de luz (LED), presentada como tal en un espectro visible al mundo por el ingeniero norteamericano Nick Holonyak en 1962, quien años más tarde aseguraría que esta tecnología sustituiría las lámparas incandescentes creadas por Thomas Edison.

La iluminación LED <sup>1</sup> presenta varias ventajas referente al ahorro energético y rendimiento ( $\text{lm/W}$ )<sup>2</sup>, además de poseer una larga vida útil a pesar de su costo inicial relativamente alto, sin embargo, existen ciertos puntos que no son considerados por el usuario al momento de adquirir este tipo de iluminación y que afectan a la fuente de energía eléctrica principal, inyectando variables que distorsionan sus características originales, por tanto, al verme masificado y en constante crecimiento la utilización de los elementos LED, ha conllevado a instituciones científicas a buscar soluciones y reglas que normen valores máximos de distorsión.

El presente artículo tiene como fin describir el comportamiento eléctrico de la iluminación LED residencial, mostrando variables como distorsión armónica, factor de potencia y consumo eléctrico, mediante pruebas y mediciones con equipos de análisis eléctricos, tomando datos con muestras reales. En la primera sección se encuentra la introducción, en la segunda sección la metodología experimental donde se presenta las medidas y resultados de toma de muestras con focos incandescentes y lámparas LED, en la tercera sección se muestran los análisis de los resultados obtenidos y en la cuarta sección se presentan las conclusiones y recomendaciones que establece los puntos más notorios del presente artículo.

---

Gabriel.simbana@insta.edu.ec

---

<sup>1</sup> LED – Ligh Emitting Diode, diodo emisor de luz

<sup>2</sup>  $\text{lm/W}$  – Lúmenes por vatio

**PROCESO EXPERIMENTAL**

Para obtener los datos necesarios y poder contrastarlos se ha elaborado dos circuitos distribuidos en paralelo con lámparas que presentan flujos lumínicos muy similares y sometidos a las mismas condiciones energéticas, con el fin de realizar un contraste adecuado, el primero consta de tres lámparas incandescentes del mismo fabricante y características técnicas, y el segundo implementado por tres focos LED de similar fabricante y características técnicas, todo esto a fin de obtener resultados claros y precisos.

Utilizando un analizador de energía FLUKE 1735 POWER LOGGER ANALYST y el software POWER LOG para extraer los datos se ejecutaron los ensayos y toma de datos mostrados a continuación.

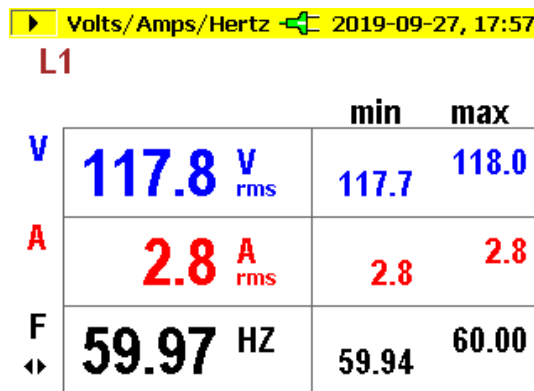
**Circuito paralelo de lámparas incandescentes.**

En la implementación de este circuito en paralelo se utiliza tres lámparas incandescentes del mismo fabricante y características técnicas mostradas en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Características técnicas lámparas incandescentes

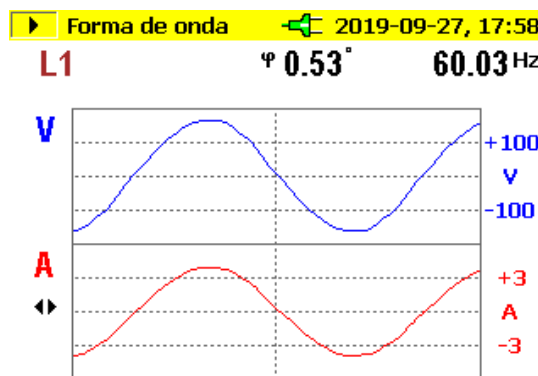
Fabricante	SHINE
Tipo	60 A
Apariencia	Esmerilado
Frecuencia	60 Hz
Boquilla	E27
Potencia	110 W
Lumen	1320 Lm
Voltaje	110-120V
Diámetro	60 mm
Material Base	Acero Galvanizado
Horas de vida promedio según fabricante	12000 h
Certificado	CE

En la Fig. 1 se observa el voltaje, frecuencia y consumo de corriente del circuito.



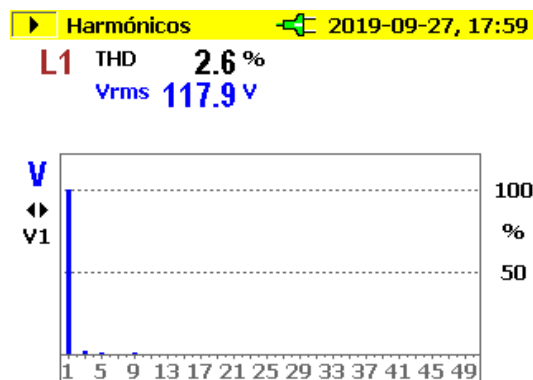
**Figura 1:** Voltaje, corriente y frecuencia

En la Fig. 2 observamos las formas de onda de voltaje y corriente del circuito de las lámparas incandescentes.



**Figura 2:** Formas de onda de Voltaje y corriente.

En la Fig. 3 se observa el THD<sup>3</sup> de línea del circuito.



**Figura 3:** THD de línea

En la fig. 4 se observa el THDi<sup>4</sup> del circuito.

3 THD - Total Harmonic Distortion, distorsión armónica total

4 THDi - Total Harmonic Distortion intensity, distorsión armónica total de

corriente

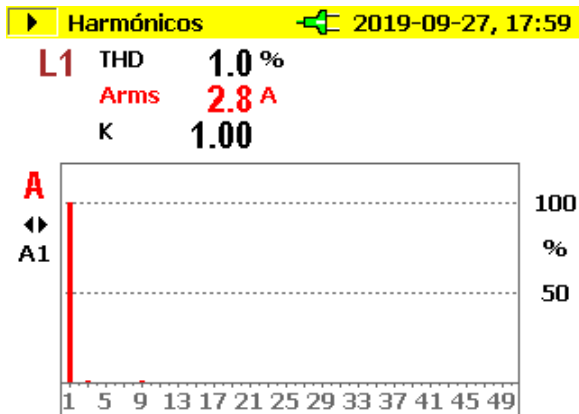


Figura 4: THDi de línea

En la Fig. 5 se observa las potencias activas (P), reactiva (Q) y factor de potencia del circuito.

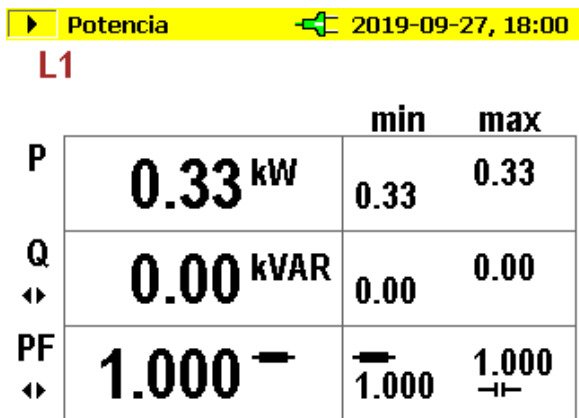


Figura 5: Potencias activas (P), reactiva (Q) y factor de potencia.

**Circuito en paralelo de lámparas LED**

En la implementación de este circuito en paralelo se utiliza tres lámparas LED del mismo fabricante y características técnicas, mostradas en la Tabla 2

Tabla 2: Características técnicas lámparas LED

Fabricante	PROELé
Tipo	A65
Color	65000 K
Frecuencia	60 Hz
Boquilla	E27
Potencia	12 W
Lumen	1200 Lm
Voltaje	100-240V
Diámetro	65 mm

Material Base	Acero Galvanizado
Horas de vida promedio según fabricante	15000 h
Certificado	CE

En la Fig. 6 se observa el voltaje, frecuencia y consumo de corriente del circuito.

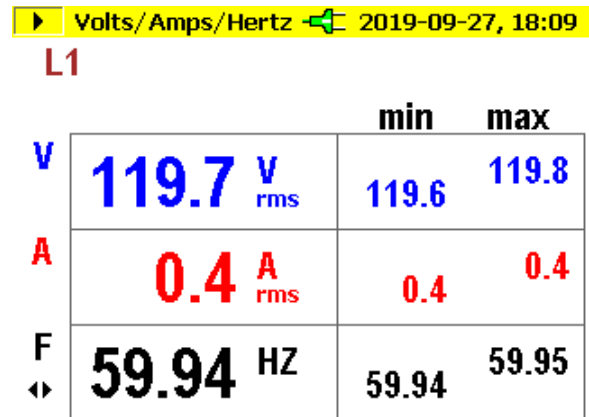


Figura 6: Voltaje, corriente y frecuencia

En la Fig. 7 observamos las formas de onda de voltaje y corriente del circuito de las lámparas LED.

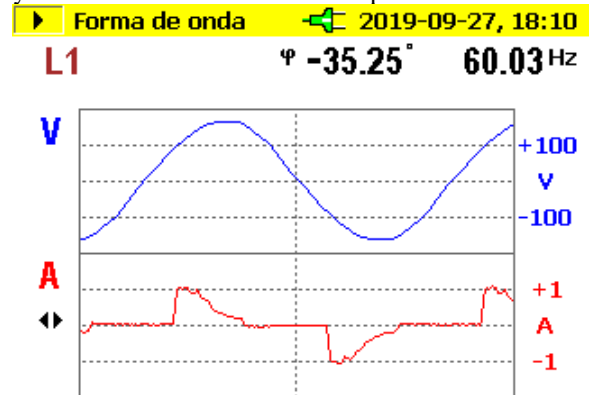


Figura 7: Formas de onda de Voltaje y corriente.

En la Fig. 8 se observa el THD de línea del circuito.

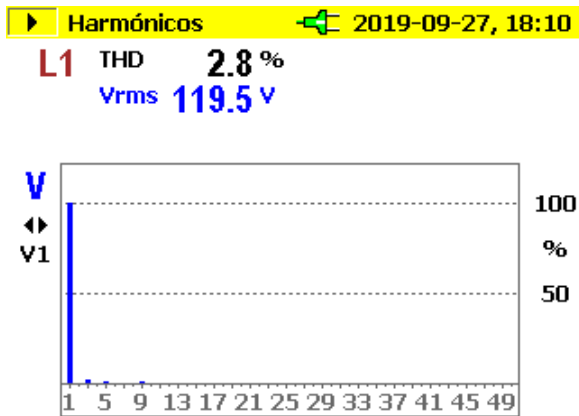


Figura 8: THD de línea

En la fig. 9 se observa el THDi del circuito.

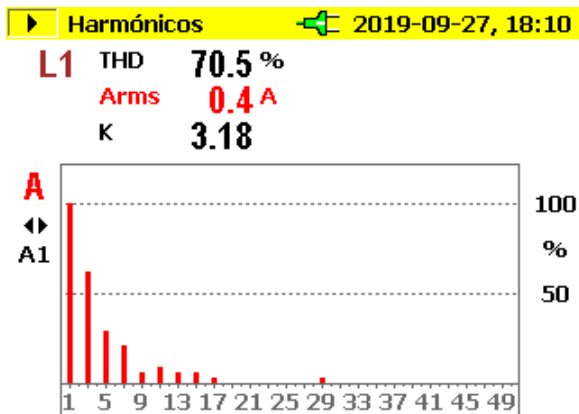


Figura 9: THDi de línea

En la Fig. 10 se observa las potencias activas (P), reactiva (Q) y factor de potencia del circuito.

Harmónicos 2019-09-27, 18:11

L1

		min	max
P	<b>0.04 kW</b>	0.03	0.04
Q	<b>-0.01 kVAR</b>	-0.02	-0.01
PF	<b>0.709</b>	0.677	0.741

Figura 10: Potencias activas (P), reactiva (Q) y factor de potencia.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Antes de iniciar el proceso de análisis de los resultados se definen a continuación, ciertos términos como:

**Potencia Activa (P):** La denominada “potencia activa” representa en realidad la “potencia útil”, o sea, la energía que realmente se aprovecha cuando ponemos a funcionar un equipo eléctrico y realiza un trabajo. Su unidad es el Vatio (W). [1] Por otra parte, la “potencia activa” es realmente la “potencia contratada” en la empresa eléctrica y que nos llega a la casa, la fábrica, la oficina. La potencia consumida por todos los aparatos eléctricos que utilizamos normalmente, la registran los contadores o medidores de electricidad que instala dicha empresa para cobrar el total de la energía eléctrica consumida cada mes. [1]

**Potencia Reactiva (Q):** La potencia reactiva es la que consumen los motores, transformadores y todos los dispositivos o aparatos eléctricos que poseen algún tipo de bobina o enrollado para crear un campo electromagnético. Esas bobinas o enrollados que forman parte del circuito eléctrico de esos aparatos o equipos constituyen cargas para el sistema eléctrico que consumen tanto potencia activa como potencia reactiva y de su eficiencia de trabajo depende el factor de potencia. Mientras más bajo sea el factor de potencia, mayor será la potencia reactiva consumida. Además, esta potencia reactiva no produce ningún trabajo útil y perjudica la transmisión de la energía a través de las líneas de distribución eléctrica. La unidad de medida de la potencia reactiva es el VAR (Volt-amper-reactivo). [1]

**Factor de potencia:** El factor de potencia es la relación entre la potencia de trabajo útil (W) y la potencia aparente (VA), esta mide la eficacia con la que se utiliza la energía eléctrica. Un alto factor de potencia permite una eficiente utilización de la energía, mientras que un bajo factor indica una pobre utilización de la energía eléctrica. [2]

**Tasa de distorsión armónica:** Conocido como THD por sus siglas en inglés, se traduce como el valor eficaz del rizado y el eficaz de la componente fundamental. [3]

Contrastando los resultados obtenidos de ambos circuitos, incandescentes y LED se obtiene de las Fig. 1 y Fig. 6 que las dos partes son sometidas a similares condiciones de voltaje y frecuencia, sin embargo, la corriente RMS<sup>5</sup> de consumo de las lámparas LED son mucho menor que las incandescentes (87% menos) mostrando aproximadamente el mismo flujo lumínico,

<sup>5</sup> RMS - Root Mean Square, cuadrado medio de la raíz.

y destacando mayor eficiencia de las luces LED.

En la Fig. 2 y Fig.7 se muestra la distorsión en las formas de onda de voltaje y corriente que genera cada una de las cargas ancladas a la red eléctrica, las lámparas incandescentes no presentan distorsión alguna, mientras que las LED deforman en gran medida a la onda de corriente y generan un desfase negativo con referencia al voltaje, este es el primer indicio de que la iluminación por diodos afecta a la alimentación de la red eléctrica.

En las Fig. 3 y Fig. 8 se observa el espectro de armónicos de la línea de voltaje de las cargas ancladas, en donde no se observa diferencias significativas, predomina la variable fundamental y ambas poseen un THD similar promedio de 2.7% que según la norma IEEE<sup>6</sup> 519 (entidad que tiene como uno de sus varios propósitos regular el impacto negativo generado por cargas no lineales), se permite un valor máximo de 5% para variables de corriente y voltaje en líneas de baja tensión, afirmando que se encuentra dentro de la normativa.

En la Fig. 4 y Fig. 9 se observa el espectro de armónicos de la línea de corriente de las cargas ancladas, donde se muestra variaciones relevantes por parte de la iluminación LED mostrando un THDi promedio de 70.5% que sobrepasa en gran medida a lo sugerido por la IEEE 519 y verificando presencia en el espectro de armónicos 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17 y 29, afirmando que las lámparas LED son cargas no lineales, que se alimentan de corrientes distorsionadas y que pueden afectar a equipos sensibles conectadas a la misma red.

Finalmente en las Fig. 5 y Fig. 10 se observa el consumo de ambas cargas, donde las lámparas LED presentan 87% menos de consumo verificado anteriormente, además se tiene una leve presencia de potencia reactiva y un factor de potencia notorio muestra que la carga ya no es completamente lineal a diferencia de la lámpara incandescente cuyo factor de potencia es 1 y no posee potencia reactiva. Actualmente la empresa eléctrica Quito. S.A permite un FP de 0,92 aproximadamente, valores por debajo de este límite son sancionados a través de multas económicas.

Para minimizar los armónicos existen filtros, cuyo fin es disminuir y eliminar en lo posible estas variables, a través de un adecuado diseño mediante el análisis minucioso de los armónicos. Para corregir el factor de potencia se utilizan bancos de capacitores, que de igual forma deben ser cuidadosamente dimensionados para llegar en lo posible al valor ideal de 1, existen equipos que integran ya los elementos de corrección en un

mismo dispositivo. Los equipos antes mencionados tienen un costo inicial relativamente considerable, sin embargo, hay que tomar en cuenta que esta inversión se verá amortizada en el ahorro energético mensual y ausencia de multas económicas al establecerse eléctricamente dentro de normas.

Los equipos de filtrado, empleados en las instalaciones permiten obtener mejoras en la compensación de la potencia reactiva a la frecuencia fundamental para un factor de potencia especificado, se disminuyen el porcentaje de distorsión armónica total (THD), además se evitan fenómenos de resonancia, que surgirían al conectar capacitores sin protección contra armónicas y se minimiza pérdidas activas en cables y aparatos electromagnéticos, por reducción del THD. [4]

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente artículo se han expuesto varios resultados experimentales obtenidos de mediciones y pruebas ejecutadas a lámparas incandescentes y LED en donde se pueden observar a detalle su comportamiento eléctrico.

Las pruebas experimentales muestran claramente que las lámparas LED son más eficientes, ya que consumen un 87% menos de energía para mantener un similar flujo lumínico con respecto a los focos incandescentes, además de presentar un mayor tiempo de vida útil.

Las formas de onda de corriente y espectro de armónicos de las lámparas LED muestran claramente que se trata de una carga no lineal que inyecta distorsión a la red eléctrica debido a la electrónica que ésta maneja internamente. Esta electrónica no siempre maneja estándares normalizados, agravando más el problema en la línea de suministro eléctrico.

El factor de potencia de las lámparas LED varía drásticamente al ideal, debido al consumo de corriente distorsionada, y que, al igual que las variables mencionadas anteriormente aumentan en magnitud a medida que las cargas se incrementan conllevando a buscar soluciones para mitigar estas afectaciones.

La presencia de armónicos en la red eléctrica, producto de la instalación de luminarias LED es cada vez más notoria generando problemas en la calidad de energía de suministro, provocando que se tomen medidas como el sobredimensionamiento de las acometidas eléctricas, generando pérdidas considerables.

Al implementar este tipo de iluminación en el sector residencial hay que tomar en cuenta las diversas

<sup>6</sup> IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, Instituto de

Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

soluciones que nos presenta la tecnología para minimizar estas variables como filtros de armónicos debidamente dimensionados, ya que un inadecuado cálculo podría acrecentar el problema en lugar de su eliminación, estos filtros deben ser colocados lo más cercano posible a la fuente de distorsión para obtener mejores resultados. Cabe aclarar que la inversión inicial de estos equipos, es un freno para optar por estas soluciones, sin embargo, hay que tomar en cuenta que esos costos se verán amortizados en el ahorro económico por pérdidas solventadas.

La mitigación de estas variables de distorsión a más de presentar un ahorro económico puede aumentar la vida útil de equipos sensibles como los electrónicos, que son los más propensos a sufrir averías por estas distorsiones.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] García, J. (2019). RESPUESTA TIPOS DE POTENCIA ELÉCTRICA. Recuperado 25 septiembre 2019, de [http://www.asifunciona.com/respuestas/respuesta\\_2/respuestas\\_2.htm](http://www.asifunciona.com/respuestas/respuesta_2/respuestas_2.htm)

[2] Factor de potencia. (2019). Recuperado 27 septiembre 2019, de <https://www.electricaplicada.com/que-es-el-factor-de-potencia/>

[3] División de calidad de red, C. (2019). Armónicos: Problemática actual y su solución. Recuperado 28 septiembre 2019, de [http://docs.circuitor.com/docs/CIR\\_Article\\_AFQevo\\_SP.pdf](http://docs.circuitor.com/docs/CIR_Article_AFQevo_SP.pdf)

[4] Filtros de armónicas | Leyden | Ingeniería en Capacitores. (2019). Recuperado 29 septiembre 2019, de <http://www.leyden.com.ar/es/filtros-de-armonicas/>