

DOI: 10.26820/recimundo/9.(esp).mayo.2025.90-99

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2603>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de revisión

CÓDIGO UNESCO: 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas

PAGINAS: 90-99



Caracterización y análisis de la calidad de energía en los sistemas de iluminación incandescentes, fluorescentes y leds

Characterization and analysis of energy quality in incandescent, fluorescent and LED lighting systems

Caracterização e análise da qualidade energética em sistemas de iluminação incandescente, fluorescente e LED

Marco Aníbal León Segovia¹; Manuel Ángel León Segovia²; Edwin Homero Moreano Martínez³; Vladimir Marconi Ortiz Bustamante⁴

RECIBIDO: 10/01/2025 **ACEPTADO:** 19/03/2025 **PUBLICADO:** 05/05/2025

1. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; marco.leon@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0002-2057-1471>
2. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; manuel.leon@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0001-9565-2965>
3. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; edwin.moreano@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0003-3512-9122>
4. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; vladimir.ortiz@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0003-3512-9122>

CORRESPONDENCIA

Marco Aníbal León Segovia
marco.leon@utc.edu.ec

Latacunga, Ecuador

RESUMEN

En los últimos años el estudio de la calidad de energía relacionado principalmente con la presencia de armónicos en la red de suministro eléctrico ha derivado en monitoreos constantes con el fin de identificar eventos que resulten perjudiciales a sus diferentes componentes por lo que este artículo presenta los resultados obtenidos de la evaluación de un sistema eléctrico con presencia de armónicos compuesto por cargas lineales y no lineales como las lámparas incandescentes, leds y fluorescentes. Se establecieron diferentes configuraciones que permitió determinar los niveles de distorsión armónica tanto de voltaje como corriente para analizar su influencia en el sistema eléctrico ante las diferentes combinaciones de carga.

Palabras clave: Calidad de energía, Armónicos, Suministro eléctrico.

ABSTRACT

In recent years, the study of power quality related mainly to the presence of harmonics in the electrical supply network has led to constant monitoring in order to identify events that are harmful to its different components, so this article presents the results. obtained from the evaluation of an electrical system with the presence of harmonics composed of linear and non-linear loads such as incandescent, LED and fluorescent lamps. Different configurations were established that allowed determining the harmonic distortion levels of both voltage and current to analyze their influence on the electrical system under different load combinations.

Keywords: Power quality, Harmonics, Power supply.

RESUMO

Nos últimos anos, o estudo da qualidade de energia relacionada principalmente com a presença de harmónicas na rede eléctrica de alimentação tem levado a uma monitorização constante com o objetivo de identificar eventos prejudiciais aos seus diferentes componentes, pelo que este artigo apresenta os resultados obtidos a partir da avaliação de um sistema eléctrico com presença de harmónicas compostas por cargas lineares e não lineares como lâmpadas incandescentes, LED e fluorescentes. Foram estabelecidas diferentes configurações que permitiram determinar os níveis de distorção harmónica tanto da tensão como da corrente para analisar a sua influência no sistema eléctrico sob diferentes combinações de cargas.

Palavras-chave: Qualidade de energia, Harmónicos, Fonte de alimentação.

Introducción

Los diferentes sistemas de iluminación utilizados en las industrias provocan un elevado índice de armónicos en los alimentadores de distribución de medio y bajo voltaje, afectando la calidad de energía y la eficiencia energética de los sistemas eléctricos convirtiéndose en una preocupación permanente por parte de los gobiernos a nivel mundial, estos han logrado introducir en sus políticas de estado normativas que garanticen el uso eficiente de la energía eléctrica, basados principalmente en los desafíos de un crecimiento notable del sector comercial y particularmente en el industrial.

La calidad de energía y la eficiencia energética son temas que deben ser tratados principalmente en los sectores industriales procurando disponer de sistemas energéticos eficientes internos y externos garantizando la conservación y protección de los recursos naturales tanto locales como mundiales basado en la sostenibilidad a través de compromisos a nivel ambiental, social y particularmente de las políticas desarrolladas por los gobiernos de turno y las políticas propias de las empresas un desarrollo de una industria eficientes y productivas. En Ecuador, “la Eficiencia Energética se ha venido desarrollando a través de diferentes programas y proyectos promovidos por los Gobiernos de turno a nivel de sustitución tecnológica de gestión y con la transformación de los hábitos culturales de la población” (Reyes Calderón, Gilberto, 1996).

En la industria ecuatoriana existe el uso de muchas tecnologías principalmente a nivel de los sistemas de iluminación donde se encuentran luminarias de vapor de mercurio, incandescentes, fluorescentes y led (Mora Sánchez, Johnny Duvan; Cevallos Chávez, Yandri Javier, 2014) debido a muchos factores basadas en políticas internas que en algunos casos priorizan el nuevo desarrollo tecnológico y realizan las inversiones correspondientes y otras que se han quedado en el tiempo basan sus recursos en cambios

pequeños y mantenimiento de las instalaciones existentes, esta situación incide en los sistemas eléctricos como alimentadores, TDP, protecciones, etc., debido a que se ven afectados por algunos aspectos significativos como cortes de energía, variaciones de voltaje, bajo factor de potencia y principalmente la presencia de armónicos, factores que afectan a un bajo nivel de iluminación, paradas no planificadas que afectan la producción, altos costos de producción y consumos de electricidad elevados.

La calidad de energía dentro de una empresa debe cumplir con el estándar tanto para armónicos de voltaje como de corriente lo que considera el estándar IEC 61000-3-6 como porcentaje de voltaje nominal para el 3er armónico es del 5% principalmente y los límites de corriente para el 3er armónico según la norma IEC 61000-3-2 (Hiler German, Kevin Luis; Lozada Ortiz, Douglas Bladimir, 2018) para equipos de clase C donde se considera iluminación es del 2%, estos y otros parámetros establecidos por reglamento como los flicker, niveles de tensión, variaciones y otros, permiten evaluar los índices de índices de calidad de la energía eléctrica dentro un comercio o una industria (Barrantes Zapana, Godofredo, 2021).

El análisis de los resultados disponible sobre la calidad de energía y la eficiencia energética, la aplicación correcta de la normativa y la política interna evitan la utilización de tecnologías antiguas o inadecuada en los sistemas eléctricos, así como el uso innecesario de los sistemas de iluminación en áreas poco concurridas o en horarios no laborales a través de un control óptimo, reduciendo el consumo de energía y mejorando la productividad de la empresa que es la relación existente entre el volumen total de producción y los recursos utilizados para alcanzar dicho nivel de producción.

A pesar de que tanto la calidad de energía como la eficiencia energética son de análisis indispensable dentro de una industria están han sido relegadas por las mismas debido

a diferentes factores de índole político como financiero, es decir muchas de las ocasiones tanto los departamentos técnicos como las gerencias no ven la necesidad de un cambio y en muchos casos solo aplican soluciones parciales, por otro lado está la parte económica debido a que muchas veces son inversiones importantes y las empresas no cuentan con los recursos necesarios por lo que se recurre a políticas que relacionan principalmente al personal y la aplicación de normas que eviten el desperdicio de energía como mantener encendidas la luminarias en zonas poco transitadas o utilizadas, implementando controles automatizados y más formas que en mucho de los casos no solucionan el problema de fondo.

En Ecuador la aplicación del Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016 - 2035 auspiciada por el Ministerio de Electricidad, el BID y el PLANEE permite analizar los principales aspectos relacionados con el eje industrial considerando los objetivos sectoriales que permiten el reemplazo de los equipos ineficientes a través de la aplicación de la norma 50001 y la introducción de sistemas de cogeneración. Esta aplicación ha permitido que a partir del 2012 se ejecute el programa de renovación de equipos de consumo de energía ineficiente a través de la ejecución del proyecto Eficiencia Energética para la Industria con lo que se logra implementar el Sistema de Gestión de Energía (SGEn) en 39 empresas y la capacitación de 2000 técnicos a nivel nacional para identificar y desarrollar mejoras energéticas, dando como

resultado la reducción en el consumo de energía de 13400MWh/año y de 57272 bep/año en combustibles.

Es primordial considerar que el sector industrial se encuentra enfocado en el uso eficiente de los recursos naturales en proyectos de cogeneración, así como el uso de nuevos sistemas de iluminación lo que motiva el presente estudio sobre la evaluación de la calidad de energía y su eficiencia al disponer de sistemas incandescentes, fluorescentes y led en un sistema industrial y como el uso de los mismos incide en los alimentadores, protecciones y operación a través de la presencia principalmente de armónicos y que a través del presente estudio se pueda evaluar el comportamiento de cada sistema de iluminación y su afectación al sistema eléctrico.

Metodología

Se tomaron los datos correspondientes desde el módulo de pruebas de calidad de energía con el analizador de redes Monofásico-Trifásico Mecatronik con un rango de voltaje 300 VRMS y una corriente de 10 ARMS (figura 1), de voltaje, corriente, armónicos, energía consumida correspondientes a cada lámpara considerando primero una conexión individual del sistema incandescente, fluorescente y led y en segundo lugar la conexión de grupo de lámparas incandescente-fluorescente, incandescente-led, fluorescente-led e incandescente-fluorescente-led, estos datos son registrados en Excel con el fin de extrapolar sus valores y determinar las curvas correspondientes.



Figura 1. Imagen datos obtenidos a través analizador de redes Monofásico-Trifásico Mecatronik

De las pruebas realizadas con cada conexión y grupo de luminarias se consideró los resultados obtenidos tanto de forma individual como las posibles combinaciones obteniendo de cada una de ellas valores de voltaje, corriente y armónicos.

Los valores obtenidos de cada parámetro tanto de voltaje, corriente a las conexiones tanto individual como combinado de los tres sistemas incandescentes, fluorescentes y led nos permite utilizarlos para el análisis del comportamiento del sistema eléctrico.

Métodos analíticos empleados:

- Voltaje: medición de los valores mínimos y máximos del voltaje en la red en un tiempo de 5 minutos utilizando el voltímetro del analizador de redes.
- Corriente: medición de los valores del corriente en cada circuito evaluado en un tiempo de 5 minutos utilizando el amperímetro del analizador de redes.
- Frecuencia: medición de frecuencia en la red en un tiempo de 5 minutos utilizando del analizador de redes.
- Potencias: obtención de los valores de potencia activa, aparente, reactiva y de distorsión en el sistema eléctrico en un tiempo de 5 minutos utilizando el analizador de redes.
- Armónicos: obtención de los valores armónicos tanto de voltaje como de corriente cada sistema de iluminación analizado en un tiempo de 5 minutos utilizando el analizador de redes.
- Determinación de las ondas características totales de voltaje y corriente en función de la fundamental y armónicos.
- Comparación de los resultados obtenidos con lo que establece la norma en función de los límites para cargas no lineales conectadas a la red pública en el punto de conexión establecidas en el estándar IEEE 519-1992 (Norma IEC 61000, 2021)

Los resultados obtenidos tanto de los armónicos de voltaje como de corrientes se expresaron en unidades de voltios (V) como en amperios (A) respectivamente. Obteniendo valores correspondientes a la fundamental y armónicos para los dos casos THDv y THDi los cuales nos permiten analizar el comportamiento de las ondas y su grado de afectación tanto a los sistemas internos como a red.

Los parámetros eléctricos obtenidos de cada sistema de iluminación analizado permiten establecer su contenido armónico y que a través de los cuales considera posibles soluciones.

Metodología del Índice de armónicos de un sistema de iluminación

En esta metodología el grado de contaminación armónica a la red generada por los sistemas de iluminación es expresada como un porcentaje del valor VRMs tanto del voltaje como de la corriente compuesta por la fundamental y los armónicos correspondientes. Así el voltaje podrá tener límites de THD para voltajes no superiores a 6,9 kV de un 5% y para corrientes menores de 20 A de un 5% tener según se establece en el IEEE 519-1992 (González, Luna, y Rivas, 2015). Por lo tanto, el índice es un porcentaje que debe ser considerado en cada, considerándose que 3er y 5to armónico afecta principalmente a la calidad de energía. Este índice de armónicos establecido por la normativa antes mencionada y cada uno de ellos responde a una afectación directa dentro del sistema eléctrico usado en la alimentación de los sistemas de iluminación:

Corrientes del tercer y quinto armónico: las corrientes del tercer y quinto armónico no se anulan, por lo contrario, se acumulan en el neutro, llegando en algunos casos a ser mayor que el de las fases provocando un sobrecalentamiento o una diferencia de voltaje excesiva entre el conductor neutro y tierra.

Corrientes del quinto y onceavo armónico: la presencia de motores de inducción que pueden ser alimentadas por voltajes distorsio-

nados se calientan por encima de los límites de placa provocados por el efecto piel o por las corrientes de Foucault y si además algún armónico es de secuencia negativa como el caso del 5to y 11vo armónico, el campo rotatorio generado se opone al sentido de giro del motor provocando la reducción del par o torque y la pérdidas en la eficiencia del motor así como vibraciones mecánicas.

Corrientes del séptimo armónico: la presencia de las corrientes armónicas en un sistema eléctrico provoca un aumento en las pérdidas debido a un excesivo calentamiento de los conductores, generando una circulación de corriente por su parte superior, fenómeno que es conocido como efecto piel y que generalmente se da por encima de frecuencias de 300Hz y que corresponde al 7mo armónico y superiores (Falcón y Velasco, 2016).

Estándares y recomendaciones: el incremento y el uso de sistemas electrónicos principalmente de potencia han generado un efecto negativo en las redes tanto de alto, medio y bajo voltaje a tal punto que tanto los entes nacionales como internacionales han establecido a través de sus políticas límites a la presencia de armónicos en los sistemas eléctricos garantizando una buena calidad del producto tanto en voltaje como en corriente.

El instrumento como tal puede utilizar algoritmos de la transformada discreta de Fourier (DFT) que permitan el muestreo y retención de los datos para su correspondiente análisis en base a datos obtenidos de voltaje, corriente, potencia y las curvas correspondientes.

Es pertinente considerar que la estabilidad a largo plazo de la tensión de ensayo debe mantenerse dentro de un rango de $\pm 2\%$ y la frecuencia en un $\pm 0,5\%$ y si el sistema es trifásico la relación entre fases debe ser de $0^\circ, 120^\circ$ y 240° con un rango de $\pm 1,5\%$.

Por lo cual la tasa de distorsión armónica total THD es la relación entre el valor eficaz

de la suma de todas las componentes armónicas G_n hasta un orden definido H y el valor eficaz de la componente fundamental G_1 . Vea ecuación (1).

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^H \left(\frac{G_n}{G_1}\right)^2}$$

Donde:

G: Valor eficaz de la componente armónica sea corriente (I) o tensión (V)

H: Define los límites a ser analizados por norma CEI 61000-3)

Medidas de armónicos de corriente y tensión:

Los parámetros de entrada tanto de voltaje como de corriente deben adaptarse a valores de medida directa en el caso de superar los rangos especificados por el instrumento de medida con el fin de proporcionar un valor de medida directa de los armónicos correspondientes de ser el caso.

Para el caso del instrumento de medida se dispone rangos de corriente que van desde 0,1 A hasta 10 A y un máximo de 127V monofásico y 220V trifásico a una frecuencia de red de 60 Hz con un margen de error de $\pm 0,1\%$, considerando que el instrumento es de auto rango.

Para efectuar las mediciones se debe considerar que la tensión de ensayo debe mantenerse dentro del $\pm 2\%$ del valor seleccionado de entrada o tensión nominal de la red que para nuestro caso considera 220V trifásico y 127V monofásico, con una relación de fase a $0^\circ, 120^\circ$ y $240^\circ \pm 1,5^\circ$.

La distorsión armónica no debe sobrepasar los valores establecidos en condiciones específicas de ensayo con valores nominales de la red:

- 0,9% para un armónico de orden 3;
- 0,4% para un armónico de orden 5;
- 0,3% para un armónico de orden 7;

- 0,2% para un armónico de orden 9;
- 0,2% para un armónico par entre 2 y 10;
- 0,1% para un armónico de orden 11 y 40.

El valor de cresta de la tensión debe estar entre 1,40 a 1,42 veces el valor eficaz con un ángulo entre 87° y 93° después del paso por cero y la caída de tensión no debe superar los 0,5 V.

Resultados

Los resultados de la aplicación de la metodología para determinar el grado de contaminación armónica en base a las diferentes luminarias instaladas dentro en una sección industrial determinan si los parámetros son aceptables dentro de un sistema eléctrico de iluminación o no.

Sistema Incandescente (Figura 2).

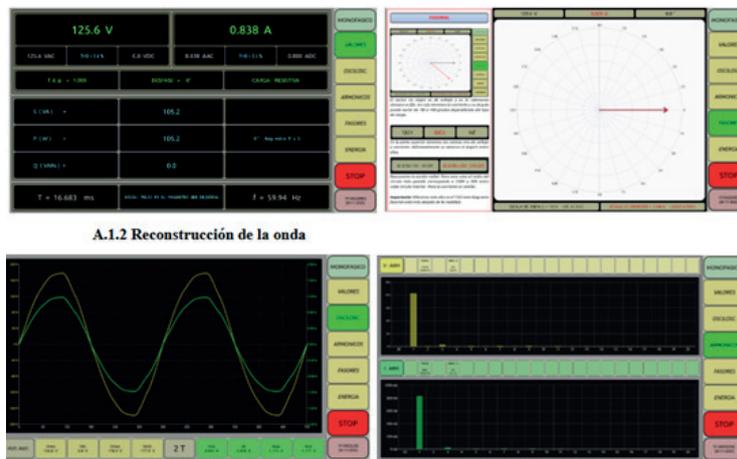


Figura 2. Resultados de un sistema incandescente

En la figura 2 se exponen los resultados obtenidos de los parámetros eléctricos de un sistema incandescente, donde el estudio permite apreciar que tanto el voltaje como la corriente se encuentran en fase y no presenta ningún

tipo de distorsión armónica, por ende, sus condiciones de funcionamiento son las más óptimas dentro de un sistema de iluminación.

Sistema Led (Figura 3).



Figura 3. Resultados de un sistema led

En la figura 3 se exponen los resultados obtenidos de los parámetros eléctricos de un sistema Led, donde el estudio permite apreciar que la curva característica del voltaje no presenta distorsión mientras que la curva de la corriente presenta una distorsión armónica de 3er, 5to, 7mo, 9no orden fundamentalmente; lo que a pesar de

que las lámparas generan un nivel óptimo de iluminación con un bajo consumo de corriente puede afectar a otros sistemas como alimentadores y protecciones reduciendo considerablemente su vida útil.

Sistema fluorescente (Figura 4).

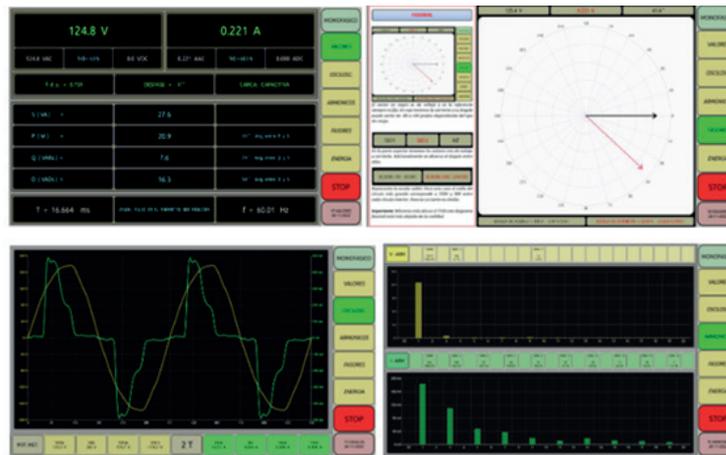


Figura 4. Resultados de un sistema fluorescente

En la figura 4 se exponen los resultados obtenidos de los parámetros eléctricos de un sistema fluorescente, donde el estudio permite apreciar que la curva característica del voltaje no presenta distorsión mientras que la curva de la corriente presenta una distorsión armónica de 3er, 5to, 7mo, 9no orden fundamentalmente; lo que a pesar de que

las lámparas generan un nivel aceptable de iluminación con un consumo medio de corriente incluido la lámpara como su equipo de encendido puede afectar a otros sistemas como alimentadores y protecciones reduciendo considerablemente su vida útil.

Sistema incandescente, led y fluorescente (Figura 5).

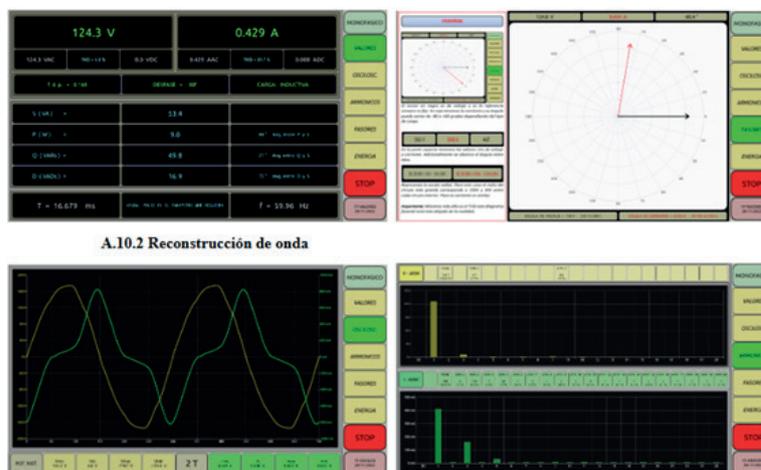


Figura 5. Resultados de un sistema combinado, incandescente, led y fluorescente

En la figura 5 se exponen los resultados obtenidos de los parámetros eléctricos de un sistema combinado incandescente, led y fluorescente, donde el estudio permite apreciar que la curva característica del voltaje no presenta distorsión mientras que la cur-

va de la corriente presenta una distorsión armónica de 3er orden fundamentalmente; en este caso se genera un fenómeno que permite disponer de una onda con presencia de pocos armónicos, pero con un bajo factor de potencia.

Tabla 1. Valores de los armónicos de corriente del sistema combinado de iluminación

Arm fundamental	Arm 2	Arm 3	Arm 4	Arm 5	Arm 6	Arm 7	Arm 8	Arm 9	Arm 10
1,188		0,228		0,116		0,084		0,051	

Sistema incandescente, led y fluorescente (Figura 6).

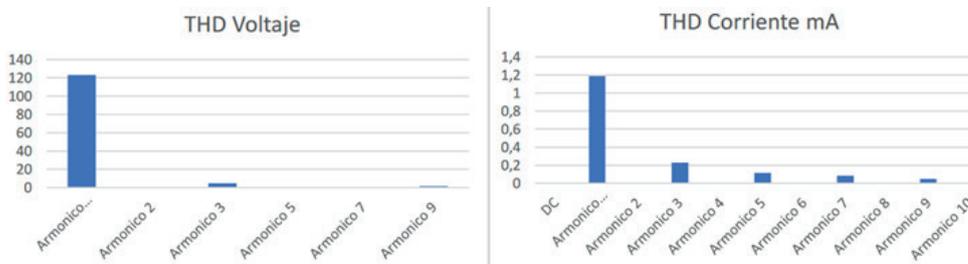


Figura 6. Resultados de armónicos del sistema combinado, incandescente, led y fluorescente

En la figura 6 se exponen los resultados obtenidos de los parámetros eléctricos de un sistema incandescente, led y fluorescente, donde los resultados expresan la presencia de un tercer armónico de 0,228 A y con un porcentaje total de 23,5% mismo que se encuentra por encima del 5% como valor establecido.

Conclusiones

- De acuerdo con los resultados de la aplicación de la metodología de índice de armónicos de un sistema de iluminación respecto al voltaje este no presenta valores cercanos o superiores a lo establecido por la norma donde los sistemas incandescentes tienen un factor de potencia de 1 y el THD de voltaje se encuentra en un 3,6% mientras que el THD de corriente en 3,5%.

- Los THD de voltaje en los sistemas led se encuentran en valores de 3,9%, mientras que los de corriente están en el 69,3% con un factor de potencia de 0,752 y una onda de corriente muy distorsionada misma que está por encima de los valores establecidos para calidad de energía. Caso similar ocurre en los ahorradores donde los THD de voltaje es del 4.0% y los de corriente se encuentran en el 68,5% superando notablemente los expresados en la normativa correspondiente.
- En el caso de los sistemas industriales la utilización de las lámparas incandescentes, fluorescentes y led de forma conjunta son muy frecuentes por lo que en el análisis se obtuvo valores de THD de voltaje de 4% y los THD de corriente es 39,7% siendo éste menor a las dos

configuraciones anteriores debido a la presencia de cargas resistivas que restan el efecto inductivo del sistema.

Bibliografía

Barrantes Zapana, Godofredo (2021) "Análisis de distorsión armónica Planta Graphics, Laboratorios Portugal SRL". Escuela Académico Profesional de Ingeniería Electrónica. Arequipa. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11503/2/IV_FIN_113_TSP_Barrantes_Zapana_2021.pdf

Falcón Pazmiño, Diego Mauricio; Velasco Jiménez, Edwin Francisco (2016) "Análisis de la distorsión armónica producida por cargas no lineales originada por la incorporación masivas de cocinas de inducción en el barrio la Florida del cantón Salcedo, perteneciente a la concesión de Elepco SA en el año 2016" [Tesis de Licenciatura]. Universidad Técnica de Machala. Latacunga. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/3092>

González Herrera, Diego; Luna Russi, Gustavo; Rivas Trujillo, Edwin (2015) "Evaluación del impacto de la generación distribuida mediante índices normalizados con base en la normatividad colombiana y estándares IEEE". Ingeniería, 20(2), p. 299-315. ISSN 0121-750X. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v20n2/v20n2a09.pdf>

Hiler German, Kevin Luis; Lozada Ortiz, Douglas Bladimir (2018) "Análisis de la calidad de energía eléctrica en la Industria Alimenticia Agrovanic SA" [Tesis de Licenciatura]. Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15474/1/UPS-GT002094.pdf>

Mora Sánchez, Johnny Duvan; Cevallos Chávez, Yandri Javier (2014) "Estudio y análisis de calidad de energía enfocado en nivel de armónicos en el sistema eléctrico de la subestación enfriadora 1 de Holcim Ecuador planta Guayaquil". [Tesis de Licenciatura]. Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6848/1/UPS-GT000654.pdf>

Norma IEC 61000. (2021) "Compatibilidad electromagnética (CEM)". Parte 4-11: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a los huecos de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión para equipos con una corriente de entrada inferior o igual a 16 A por fase. Normatización Española. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=norma-une-en-iec-61000-4-11-2021-n0065349>

Reyes Calderón, Gilberto (1996) Armónicas en Sistemas de Distribución de Energía eléctrica. Diss. Universidad Autónoma de Nuevo León.

CITAR ESTE ARTICULO:

León Segovia, M. A., León Segovia, M. Ángel, Moreano Martínez, E. H., & Ortiz Bustamante, V. M. (2025). Caracterización y análisis de la calidad de energía en los sistemas de iluminación incandescentes, fluorescentes y leds. RECIMUNDO, 9(Especial), 90–99. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(esp\).mayo.2025.90-99](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(esp).mayo.2025.90-99)

