

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Eléctrico*

PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:

**“ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCEN LOS ARMÓNICOS EN LA RED
ELÉCTRICA GENERADOS POR DISTINTAS CARGAS LUMÍNICAS TIPO
LED USADOS PARA INTERIORES”**

AUTORES:

JUAN GABRIEL MATUTE HEREDIA

LUIS MIGUEL AYALA PÉREZ

TUTOR:

ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS

CUENCA - ECUADOR

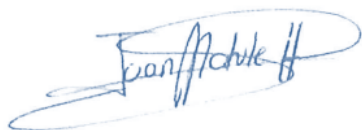
2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Juan Gabriel Matute Heredia con documento de identificación N° 0104701131 y Luis Miguel Ayala Pérez con documento de identificación N° 0103909933, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCEN LOS ARMÓNICOS EN LA RED ELÉCTRICA GENERADOS POR DISTINTAS CARGAS LUMÍNICAS TIPO LED USADOS PARA INTERIORES”**, mismo que se ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto de 2021.



Juan Gabriel Matute Heredia
C.I. 0104701131



Luis Miguel Ayala Pérez
C.I. 0103909933

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCEN LOS ARMÓNICOS EN LA RED ELÉCTRICA GENERADOS POR DISTINTAS CARGAS LUMÍNICAS TIPO LED USADOS PARA INTERIORES”**, realizado por Juan Gabriel Matute Heredia y Luis Miguel Ayala Pérez, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, agosto de 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Freddy Campoverde Armijos', with a large, stylized flourish at the end.

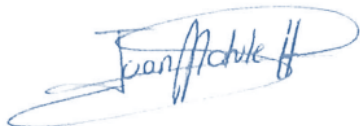
Ing. Freddy Campoverde Armijos

C.I. 0102339470

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Juan Gabriel Matute Heredia con documento de identificación N° 0104701131 y Luis Miguel Ayala Pérez con documento de identificación N° 0103909933, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL EFECTO QUE PRODUCEN LOS ARMÓNICOS EN LA RED ELÉCTRICA GENERADOS POR DISTINTAS CARGAS LUMÍNICAS TIPO LED USADOS PARA INTERIORES”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, agosto de 2021.



Juan Gabriel Matute Heredia
C.I. 0104701131



Luis Miguel Ayala Pérez
C.I. 0103909933

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a todas las personas que de una u otra manera estuvieron presentes en todo este proceso brindándome su apoyo, pero en especial quiero dedicar a mi padre Francisco Matute Heredia y a mi madre Beatriz Heredia Pacheco que son un pilar fundamental en mi vida, con su apoyo incondicional, con su paciencia y consejos logramos cumplir una meta muy importante en mi vida.

Juan Gabriel Matute Heredia

Esta tesis la quiero dedicar a mis padres, Maximiliano y Eulalia, que con sus consejos y enseñanzas de vida me guiaron hasta la culminación de este proyecto, a mis hermanos, Israel, Fabián y Pedro quienes de una u otra manera estaban apoyándome a cada instante y en especial quiero dedicar a mi esposa, Erika Belén, quién fue la persona que me motivaba e incentivaba a cada momento para que este trabajo se haga realidad.

Luis Miguel Ayala Pérez

AGRADECIMIENTOS

vi

Agradezco a Dios por darme las fuerzas para poder culminar una ardua carrera, por rodearme de buenas personas y una excelente familia.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a todos sus docentes que fueron parte de todo este proceso, por sus enseñanzas, por su formación personal y profesional.

Al Ing. Freddy Campoverde por aceptar ser mi Tutor, por su paciencia y por su aporte de ideas para culminar con este trabajo de titulación.

Juan Gabriel Matute Heredia

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este punto, darme las fuerzas y ganas de seguir adelante en tan obstaculizado camino, a mis padres, hermanos y familiares por brindarme ese apoyo siempre incondicional, a su vez un agradecimiento a nuestro director de tesis Ing. Fredy Campoverde por su paciencia, tiempo y conocimiento brindado a lo largo del desarrollo de este proyecto. Además, agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca por el apoyo brindado hasta el último trabajo realizado. Por último, quiero agradecer a mi compañera de vida, Belén, por su dedicación, esfuerzo y por saber apoyarme en todo momento hasta la finalización de este proyecto.

Luis Miguel Ayala Pérez

Contenido

| | |
|---|-----|
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORES | ii |
| CERTIFICACIÓN | iii |
| DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD | iv |
| TABLA DE CONTENIDOS | vii |
| LISTA DE TABLAS | ix |
| LISTA DE FIGURAS | x |
| Capítulo 1 | 1 |
| 1. Introducción e información general | 1 |
| 1.1 Estado del Arte | 1 |
| 1.2 Objetivo de estudio | 4 |
| Capítulo 2 | 6 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 6 |
| LÁMPARAS LED | 6 |
| 2.1.1 Ventajas | 6 |
| 2.1.2 Desventajas | 7 |
| 2.2 PARTES Y COMPONENTES DE UNA LUMINARIA TIPO LED | 8 |
| 2.2.1 El chip LED. | 8 |
| 2.2.2 Sistema de alimentación o driver | 9 |
| 2.2.3 Disipador de calor | 10 |
| 2.2.4 Componente óptico | 10 |
| 2.3 ARMÓNICOS EN LAS REDES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN | 11 |
| 2.3.1 Generalidades | 11 |
| 2.3.2 Definición de Armónicos | 11 |
| 2.3.3 Calidad de Energía Eléctrica | 12 |
| 2.3.4 Indicadores de la Distorsión Armónica | 12 |
| 2.4 ORIGEN DE LOS ARMÓNICOS | 16 |
| 2.4.1 Hornos de arco eléctrico | 16 |
| 2.4.2 Transformadores | 16 |
| 2.4.3 Hornos a inducción | 17 |
| 2.4.4 Cocinas a inducción | 17 |
| 2.4.5 Compensadores estáticos de potencia | 17 |
| 2.4.6 Lámparas LED y fluorescentes | 17 |
| 2.5 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA | 18 |
| 2.5.1 Efecto en máquinas rotativas | 18 |
| 2.5.2 Efecto en transformadores | 18 |
| 2.5.3 Efecto en sistemas de protección | 19 |
| 2.5.4 Efecto en el factor de potencia | 19 |
| Capítulo 3 | 20 |
| 3. EQUIPOS, NORMAS Y PROCEDIMIENTO | 20 |
| 3.1 EQUIPOS | 20 |

| | | |
|---|--|--------|
| 3.1.1 | Analizador de redes Fluke 435 II..... | 20viii |
| 3.1.2 | Luxómetro TENMARS TM-204 | 22 |
| 3.2 | NORMAS | 23 |
| 3.2.1 | Normas Aplicadas a la Distorsión Armónica..... | 23 |
| 3.2.2 | Normas Aplicadas al Flujo Luminoso | 25 |
| 3.3 | PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN..... | 27 |
| 3.3.1 | Distorsión Armónica..... | 27 |
| 3.3.2 | Parámetros Luminosos..... | 29 |
| CAPÍTULO 4..... | | 34 |
| 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS | | 34 |
| 4.1 | Análisis del THDi, H3 y H5 de las luminarias medidas individualmente | 34 |
| 4.2 | Análisis del THDi, H3 y H5 de las luminarias medidas en conjunto y en el PCC | 37 |
| 4.3 | Análisis de la diferencia THDi medida en el PCC | 39 |
| 4.4 | Formas de onda distorsionada en el PCC | 41 |
| 4.5 | Análisis de la iluminancia..... | 42 |
| CAPÍTULO 5..... | | 45 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 45 |
| ANEXOS | | 48 |
| Anexo 1. | Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz cálida medidas en el día..... | 48 |
| Anexo 2. | Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz fría medidas en el día..... | 49 |
| Anexo 3. | Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz cálida medidas en la noche. | 50 |
| Anexo 4. | Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz fría medidas en la noche. | 51 |
| Anexo 5. | Pruebas de armónicos en luminarias de 18W..... | 52 |
| Anexo 6. | Descarga de datos del Fluke 435 a la computadora | 52 |
| Anexo 7. | Medición de armónicos de una luminaria de 12W..... | 53 |
| Anexo 8. | Captura de pantalla en el Fluke 435 | 53 |
| Anexo 9. | Valor medido de luminosidad sobre el plano de trabajo..... | 54 |
| Anexo 10. | Valor medido de corriente en una luminaria de 6W | 54 |
| LISTA DE REFERENCIAS | | 57 |
| Bibliografía | | 57 |

LISTA DE TABLAS

ix

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Evolución de la iluminación y su eficiencia. (Barbosa, Noguera, & Giral, 2017, pág. 2) | 1 |
| Tabla 2: Especificaciones técnicas FLUKE 435. (Fluke, 2019)..... | 21 |
| Tabla 3: Condiciones armónicas establecidas para luminarias con potencias mayores a 25W. (EPSMA, 2010, pág. 7)..... | 24 |
| Tabla 4: Condiciones armónicas establecidas para luminarias con potencias menores o iguales a 25W. (EPSMA, 2010, pág. 7)..... | 25 |
| Tabla 5: Niveles de luminosidad en interiores. (ISO, 2003)..... | 26 |
| Tabla 6: Niveles de luminosidad en puesto de trabajo. (AENOR, 2003)..... | 26 |
| Tabla 7. Niveles de iluminación mínimos para trabajos específicos y similares. (OIT, 2011) | 27 |

LISTA DE FIGURAS

x

| | |
|--|----|
| Figura 1. Forma de onda de la corriente sin filtro armónico(a) y con un filtro armónico instalado(b). (Jettanasen & Pothisarn, 2014, pág. 3) | 3 |
| Figura 2. Disipador de calor de una luminaria LED usado para este proyecto. (Optical, 2019) .. | 10 |
| Figura 3. Analizador de redes trifásico FLUKE 435. (Fluke, 2019) | 20 |
| Figura 4. Luxómetro TENMARS TM – 204. (Elicrom, 2019)..... | 22 |
| Figura 5: Datos del área de medición. | 31 |
| Figura 6: Simulación del área de trabajo en Dialux..... | 31 |
| Figura 7. Datos del área de medición..... | 31 |
| Figura 8. THDi, H3 y H5 de LED's de 6W en luz cálida y fría. | 35 |
| Figura 9. THDi, H3 y H5 de LED's de 12W en luz cálida y fría. | 35 |
| Figura 10. THDi, H3 y H5 de LED's de 18W en luz cálida y fría. | 36 |
| Figura 11. THDi, H3 y H5 de LED's de 24W en luz cálida y fría. | 36 |
| Figura 12. THDi, H3 y H5 de LED's de 6W en luz cálida y fría y del PCC..... | 37 |
| Figura 13. THDi, H3 y H5 de LED's de 12W en luz cálida y fría y del PCC..... | 38 |
| Figura 14. THDi, H3 y H5 de LED's de 18W en luz cálida y fría y del PCC..... | 38 |
| Figura 15. THDi, H3 y H5 de LED's de 24W en luz cálida y fría y del PCC..... | 39 |
| Figura 16. Diferencia del THDi medido en el PCC..... | 40 |
| Figura 17. Formas de onda distorsionadas por el THDi. | 41 |

Capítulo 1

1. Introducción e información general

1.1 Estado del Arte

La iluminación eléctrica ha tenido grandes avances en cuanto a su tecnología y es que, desde su invención en 1878 por Thomas Edison, la bombilla incandescente se ha quedado muy por debajo en cuanto a eficiencia, de las actuales como son las lámparas fluorescentes, halógenas y obviamente como es la tecnología LED. En la siguiente tabla realizada por Barbosa, Noguera, & Giral (2017) se aprecia la evolución de la iluminación tanto la vida útil como su eficiencia (Lm/W).

| Tecnología | Año de Invención | Vida Útil (Horas) | Eficiencia (Lm/W) |
|---------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Incandescente | 1878 | 1000 | 15 |
| Fluorescente | 1930 | 8000 | 107 |
| Halógena | 1959 | 2000 | 24 |
| CFL | 1970 | 10.000 | 63 |
| LED | 1990 | 100.000 | 303 |

Tabla 1: Evolución de la iluminación y su eficiencia. (Barbosa, Noguera, & Giral, 2017, pág. 2)

Como se puede observar, la tecnología LED es la mejor de todas, pero tiene un inconveniente, según Barbosa (2017), ya que para su funcionamiento utilizan convertidores, inversores o drivers para transformar la energía de corriente alterna de la red a corriente continua. Dicho inconveniente se genera debido a que las cargas no lineales, como la iluminación LED, distorsiona la forma de onda de la corriente generando caídas con ondas de tensión no sinusoidales lo que conduce a la aparición de armónicos.

La aparición de armónicos en la red eléctrica ha llevado a que se realicen numerosos estudios con el fin de atenuar, controlar o mitigar las perturbaciones que se puedan dar en

la red debido a que en la actualidad existen equipos sumamente sensibles a los cambios de voltaje que pueden llegar a actuaciones incorrectas de las protecciones o daños de equipos que genera pérdidas financieras, entre otros.

En un estudio realizado por Uddin, Shareef, Mohamed, & Hannan (2012) analizan los armónicos y las características térmicas producidos por varias luminarias LED de distintas marcas de potencias bajas que oscilan entre los 4W y 8W. Para la medición de armónicos utilizan un analizador de calidad de potencia Fluke 434, el software Fluke 434 y MATLAB para visualizar la distorsión armónica. También se utilizaron once luminarias LED y dos CFL con la finalidad de realizar una comparación entre estos dos tipos llegando a la conclusión que el factor de diversidad disminuye si se conectan lámparas LED de varias marcas y diferentes potencias. Se demostró que si se conectan lámparas del mismo modelo no reducirá el factor de diversidad. Adicionalmente se concluyó que se puede reducir la generación de armónicos si se conectan en el sistema de iluminación una mezcla de luminarias LED con las CFL. Un bajo factor de diversidad indica una baja inyección de armónicos al sistema eléctrico.

En otro de los proyectos estudiados realizado por Jettanasen & Pothisarn (2014) se analiza la posibilidad de instalar un filtro de armónicos pasa bajo antes de la luminaria LED utilizando distintos drivers o convertidores. Para la construcción del filtro pasa bajo se utiliza una frecuencia de corte de 150Hz llegando a disminuir significativamente el %THDi de 141.4% al 10.2% con lo que la forma de onda sinusoidal tiene una mejora considerable como se aprecia en la Figura 1.

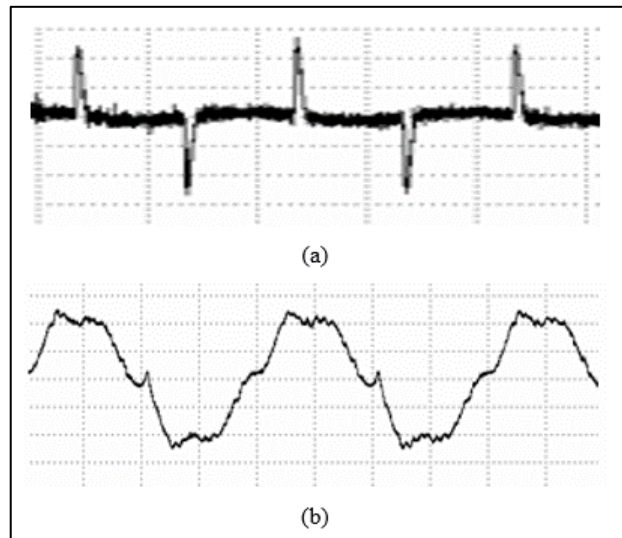


Figura 1. Forma de onda de la corriente sin filtro armónico(a) y con un filtro armónico instalado(b). (Jettanasen & Pothisarn, 2014, pág. 3)

Lincango (2015) determina un modelo matemático del THD en los sistemas de alimentación residencial en el que consta equipos como computador personal, lámpara fluorescente, microondas, televisor y una videgrabadora. Para el modelamiento utilizan el método de Montecarlo en donde analizan tres escenarios posibles, residencia de estrato económico medio, alto y bajo. En donde se obtiene un $THD_m=1.0698$, $THD_a=1.1631$ y $THD_b=1.3343$ en los escenarios 1, 2 y 3 respectivamente.

Con estos datos obtenidos se nota que, a mayor número de lámparas conectadas del mismo tipo y potencia, como el escenario 2, no se obtiene una reducción del THD como se da en el escenario 1 en donde se tienen 10 lámparas, prácticamente la mitad del número de luminarias del escenario 2. Esta conclusión concuerda con lo expuesto por Uddin (2012) explicado anteriormente en donde señala que para obtener una disminución de armónicos con cargas lumínicas una opción sería instalar luminarias de diferente marca y potencia debido a que en ese proyecto se analizaron luminarias por sí solas y conectadas en conjunto

con diferentes combinaciones y se tuvo que, el factor de diversidad es inversamente proporcional al número de luminarias conectadas y un valor pequeño del factor de diversidad indica que se produce una cantidad significativa de cancelación de armónicos debido a la superposición de formas de onda de corriente individuales. Esta cancelación se produce debido a los distintos filtros que utilizan los fabricantes de las luminarias, es decir que cada fabricante tiene un ángulo de disparo en su controlador. En este proyecto se observó que las formas de onda generadas al agregar lámparas similares no se ven afectadas excepto la magnitud de la corriente extraída del sistema.

Pinargote & Castro (2018) realizan un cambio de luminarias fluorescentes por luminarias tipo LED en un bloque de las Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, obteniendo como resultado una notoria disminución en los armónicos producidos por estas últimas luminarias comparadas con las fluorescentes llegando a producir un 28% menos en la distorsión armónica total de voltaje lo que conlleva a una mejora de la onda sinusoidal de voltaje.

1.2 Objetivo de estudio

En el presente trabajo de titulación se realizará el análisis de los armónicos en la red eléctrica, generados por las luminarias tipo LED para interiores. Complementariamente se hace un estudio de los niveles de iluminación para lámparas de similares características para lo cual se usa diferentes cargas lumínicas tipo LED de uso residencial y existentes en el mercado local para analizar y estudiar el efecto mencionado anteriormente.

Entonces, en primera instancia se debe estudiar acerca de los armónicos, problemas ocasionados, soluciones, normativas en el medio local y normativas que se podrían implementar para la superación de este problema. Luego se procedería a seleccionar luminarias LED de uso exclusivo para residencia y usadas comúnmente para así poder obtener un diagnóstico en el que se involucre a toda la región. Obtenidas las luminarias a analizar se procederán a realizar las pruebas de acuerdo con la normativa EN 61000-3-2 para medir el THD que producen cada una de ellas por separado y en conjunto.

Se pretende realizar simulaciones para comparar el THD de lo medido en laboratorio con lo que indica el proveedor en sus especificaciones técnicas, si existen. De esta manera obtener un criterio técnico.

Capítulo 2

2. MARCO TEÓRICO

LÁMPARAS LED

La iluminación con lámparas LED son las más eficientes de todas las tecnologías de iluminación y se espera un ahorro de energía eléctrica considerable, manteniendo condiciones excelentes de iluminación y superiores a las de una lámpara incandescente, por ejemplo.

Actualmente las lámparas LED son utilizadas por lo antes expuesto y además la relación costo-beneficio es alta debido a que la vida útil de una lámpara LED es de aproximadamente 50.000 horas (Sylvania, 2016, p. 1), lo cual equivale aproximadamente a 11 años con una aplicación de 12 horas diarias.

Las lámparas utilizadas en iluminación interior son las que cumplen con características fotométricas, consumo energético, economía en instalación y mantenimiento y su adaptabilidad a las necesidades básicas de iluminación, dimensión del espacio y ambiente de uso.

En este tipo de lámparas, las fuentes de alimentación tienen un papel importante ya que los LED's funcionan con corriente directa (CD) por lo que es indispensable el uso de un convertidor de voltaje de corriente alterna a corriente directa (CA-CD) y de ser necesario también se puede requerir el uso de convertidores CD-CD.

2.1.1 Ventajas

- Tienen una vida útil alta, aproximadamente de 50.000 horas.
- Son de fácil instalación y a su vez tienen reducidos costos de mantenimiento.
- Tienen una alta eficiencia energética.

- Son seguras para la salud del ser humano ya que no emiten radiación infrarroja, calor, ni radiación ultravioleta que es una de las fuentes principales del cáncer de piel.
- Su luz es unidireccional debido a que permite iluminar solo la superficie deseada, dejando al flujo hacia el hemisferio superior nulo.
- Es un sistema sólido y no genera vibración.
- Debido a su óptimo control óptico se tiene una mínima dispersión de luz.
- Se puede regular su intensidad sin obtener, por este proceso, un cambio de color en su luz.
- Trabajan sin dificultad a bajas temperaturas.
- Trabajan a bajo voltaje en corriente continua.
- En luminarias estancas o cerradas, su sellado es de por vida y suelen venir, según el fabricante, indicando su nivel de protección IP.

2.1.2 Desventajas

- No se tiene estándares para su fabricación y tampoco alguna normativa que los regule.
- El retorno de la inversión es a largo plazo y en sistemas considerables puede superar los ocho años.
- Los LED's vienen a la par de la electrónica de control, pero lamentablemente esta última tiene una vida útil menor que la primera, lo que nos indica que ese sistema fallará antes que los LED's.

- La disminución del flujo emitido por el LED se puede dar con un aumento excesivo y prolongado de su temperatura y a su vez, una reducción de su vida útil.
- La vida útil del LED depende del disipador de calor ya que debe cumplir con las especificaciones térmicas del fabricante.
- Es sensible a las variaciones de voltaje ya que un ligero aumento puede provocar la destrucción del LED.
- Requiere alimentación a corriente constante, cualquier fluctuación se traduce en fluctuación de la luz emitida. Si el driver es de baja calidad pueden producirse parpadeos en la luz emitida.
- Posibles riesgos para la salud del ser humano derivados de la luz azulada emitidos por ciertos tipos de LED ya que puede ocasionar daño ocular o impedir la regeneración de células en los ojos.

2.2 PARTES Y COMPONENTES DE UNA LUMINARIA TIPO LED

2.2.1 El chip LED.

Esta construido normalmente por un material semiconductor, carburo de silicio, que es capaz de generar luz cuando se le aplica una corriente. Constituye el elemento fundamental de la lámpara y está cubierta por una capa de fósforo. En este elemento se determina el tipo de luz; es decir, se emite la luz cálida cuando el material que recubre el chip es de color amarillo oscuro y cuando la capa de fósforo que lo recubre es de un color amarillo claro, la luz emitida será la fría.



Figura 3. Varios modelos de Chips de LED's. (Ledbox, 2019)

2.2.2 Sistema de alimentación o driver

Es de vital importancia para el funcionamiento del LED ya que es el encargado de convertir la corriente alterna a corriente directa a valores requeridos por el LED. También es el elemento que controla el sistema electrónico de trabajo del LED. Debido a este componente extra el factor de potencia del sistema obviamente se verá afectado y por esta razón al efectuar una compra de estos equipos se tiene que considerar estos detalles importantes.



Figura 4. Driver para una luminaria tipo LED utilizado en este proyecto. (Factorled, 2019)

2.2.3 Disipador de calor

Este elemento es indispensable en una lámpara LED. Su función es, como su nombre lo indica, disipar la temperatura que se genera en el punto de unión del diodo LED. De esta manera, la temperatura se mantiene en un rango moderado, previniendo la destrucción del chip de LED ya que un disipador mal diseñado puede provocar el deterioro de este o a su vez la reducción de vida útil. En la figura 4 se aprecia el disipador de calor como la carcasa en sí de la lámpara.



Figura 2. Disipador de calor de una luminaria LED usado para este proyecto. (Optical, 2019)

2.2.4

2.2.4 Componente óptico

Es el encargado de proporcionar un mayor o menor ángulo de difusión de la luz pues, el chip de LED se difunde, como se indicó en las ventajas, de forma unidireccional y se puede observar en la figura 4 como el elemento central o el que le protege al chip de LED. Cabe recalcar que el chip de LED siempre emitirá el mismo color de luz, sin importar

el paso del tiempo, pero el uso continuo si afecta al componente óptico adquiriendo una coloración amarillenta que al final tiende a obstruir el paso de la luz que emite el chip.

2.3 ARMÓNICOS EN LAS REDES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

2.3.1 Generalidades

Los armónicos son problemas que afectan tanto a los consumidores como a las empresas distribuidoras de energía eléctrica en cuanto a la calidad de energía o calidad del producto se refiere, teniendo como resultado una distorsión de la onda sinusoidal. Este fenómeno afecta a todos los dispositivos conectados a la red de distribución generando grandes problemas a los mismos, a los usuarios de la red eléctrica y a las empresas encargadas de suministrar o distribuir la energía eléctrica ya que podrían incumplir con la regulación dada por la Agencia de Regulación y Control de la Electricidad, ARCONEL 005/18.

2.3.2 Definición de Armónicos

Son los componentes no fundamentales de una frecuencia de una onda de energía eléctrica deformada de 60Hz, en el caso de Ecuador, y tienen frecuencias que son múltiplos enteros de su frecuencia fundamental. En general, los armónicos son producidos por los equipos usados por el consumidor. Su estudio es de gran importancia ya que una carga no lineal puede generar armónicos de magnitud suficiente para viajar de regreso a través del sistema y afectar a otros consumidores.

2.3.3 Calidad de Energía Eléctrica

Es una de las preocupaciones más importantes por parte de las empresas suministradoras de energía eléctrica, sin embargo no es fácil entender el criterio de “buena calidad de energía eléctrica”, porque lo que es bueno para el motor de un refrigerador es posible que no sea lo bastante bueno para las actuales computadoras personales y otras cargas sensibles (Donald & Wayne, 2001, págs. 18-124). Las principales perturbaciones típicas en la calidad de la energía eléctrica son la paralización, sobrevoltaje, bajo voltaje, flecha de voltaje, elevación de voltaje, voltaje excesivo y nuestro tema en estudio, los armónicos.

2.3.4 Indicadores de la Distorsión Armónica

Los indicadores de la distorsión armónica se utilizan a para medir, evaluar, analizar y corregir de distintas maneras para cumplir con las normativas vigentes dadas en la región o cumplir con exigencias propias. A continuación, explicaremos cada uno de estos indicadores ya que son indispensables para tomar acciones correctivas.

2.3.4.1 Potencia Activa (P)

La potencia activa de una señal distorsionada con armónicos es la suma de las potencias activas correspondientes a las tensiones e intensidades del mismo orden, así como sigue:

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \cos(\varphi_h) \quad (1)$$

Donde:

h es el orden del armónico,

V_h es la tensión del armónico h ,

I_h es la corriente del armónico h y

φ_h el desfase entre la tensión y la intensidad del armónico de orden h .

2.3.4.2 Factor de Potencia (FP)

Se define como la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), como sigue:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Cabe recalcar que $FP \neq \cos(\varphi)$ ya que en este caso estamos analizando un sistema que contiene armónicos y

$$\cos(\varphi) = \frac{P_1}{S_1} \quad (3)$$

Donde:

(P_1) es la potencia activa de la onda fundamental y

(S_1) es la potencia aparente de la onda fundamental.

Entonces, otro indicio de la presencia de armónicos es cuando el factor de potencia medido es diferente al $\cos(\varphi)$ para lo cual se dará la siguiente relación:

$$FP < \cos(\varphi) \quad (4)$$

2.3.4.3 Factor de Cresta (k)

Se define como la relación entre el valor de cresta de corriente (I_m) o tensión (V_m) y el valor eficaz de los mismos, (I_{RMS}) o (V_{RMS}), así:

$$k = \frac{I_m}{I_{RMS}} \quad (5)$$

o

$$k = \frac{V_m}{V_{RMS}} \quad (6)$$

En una señal sinusoidal el factor de cresta es:

$$k_{sinusoidal} = \sqrt{2} \cong 1,414 \quad (7)$$

Pero, el factor de cresta característico en un sistema con cargas no lineales es mayor a ($\sqrt{2}$), lo que conlleva a sobreintensidades y a la posible actuación indebida de sistemas de protección.

2.3.4.4 Tasas de Distorsión Armónica

Puesto que las siguientes ecuaciones estarán representando matemáticamente una señal eléctrica en el dominio del tiempo (t), cabe señalar que en el Ecuador la frecuencia (f_0) del sistema eléctrico en Hertz (Hz) es:

$$f_0 = 60Hz \quad (8)$$

y la velocidad angular (ω_0) es:

$$\omega_0 = 2\pi f_0 \quad (9)$$

Entonces, en un sistema donde se presentan voltajes y corrientes armónicas, el voltaje $v(t)$ y corriente $i(t)$ total con respecto al tiempo se representan, respectivamente, como sigue:

$$v(t) = \sum_{n=1}^k V_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (10)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^k I_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (11)$$

Donde:

V_n es el voltaje del armónico de orden n ,

I_n es la corriente del armónico de orden n y

θ_n el ángulo de desfase entre V_n e I_n .

Las tasas de distorsión armónica vienen dadas en porcentaje de las cantidades eléctricas, sea V_1 o I_1 .

2.3.4.5 Distorsión Armónica Total (*THD*)

Se denomina (*THD*) por sus siglas en inglés, Total Harmonis Distortion, y es utilizada para conocer, como su nombre lo indica, la tasa de distorsión armónica en su totalidad de un equipo o sistema eléctrico tanto para tensión (THD_v) o corriente (THD_i) obteniendo las siguientes fórmulas respectivamente:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^k V_n^2}}{V_1} * 100\% \quad (12)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^k I_n^2}}{I_1} * 100\% \quad (13)$$

2.4 ORIGEN DE LOS ARMÓNICOS

Para el estudio de los armónicos en la red eléctrica, la principal fuente de la deformación de la onda sinusoidal se da en la electrónica de potencia por su no linealidad en las cargas, pero antes de esta se tienen también otros responsables que aun siendo lineales provocan armónicos y se indican a continuación.

2.4.1 Hornos de arco eléctrico

En general, son usados para la fundición del acero en donde los electrodos hacen contacto con el mismo provocando un arco de gran magnitud y como consecuencia de esto se tiene una carga inestable.

2.4.2 Transformadores

Una de las formas que estos equipos generan armónicos es en el momento de su energización debido a que en este periodo de tiempo el transformador presenta una cantidad considerable de armónicos pares e impares. Otra de las maneras que generan armónicos es debido a su saturación, convirtiéndose en ese momento en un elemento no lineal ya que, cuando se encuentra sobrecargado, el transformador empieza a trabajar en una región inestable.

2.4.3 Hornos a inducción

Este equipo tiene un rectificador e inversor para controlar la frecuencia de alimentación de una bobina que mediante inducción calientan piezas metálicas llegando a temperaturas sumamente altas. Entonces los armónicos se producen gracias a estos equipos de control.

2.4.4 Cocinas a inducción

Tiene el mismo principio de funcionamiento de un horno a inducción con la diferencia que no se obtiene temperaturas muy elevadas. Es decir, también tienen un rectificador e inversor en su sistema.

2.4.5 Compensadores estáticos de potencia

Los compensadores estáticos de potencia utilizan tiristores para el control de la potencia reactiva. Una vez más es el uso de la electrónica de potencia que a través de los tiristores inyectan armónicos en la red dependiendo del ángulo de disparo de estos.

2.4.6 Lámparas LED y fluorescentes

Estos dos elementos, siendo el primero el objeto de estudio de este proyecto, son cargas no lineales ya que al inyectarles un voltaje senoidal se genera en ellos una

circulación de corrientes no sinusoidales obteniendo como resultado negativo la circulación de armónicos en la red.

2.5 EFECTOS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

Al conocer las principales fuentes de generación de armónicos se indicará algunos de los efectos que causan en distintas máquinas utilizadas comúnmente y en general las consecuencias son las siguientes:

- Amplificación de armónicos debido a la resonancia.
- Envejecimiento del aislamiento de los elementos de la red
- Reducción del tiempo de vida útil de los elementos sometidos a armónicos
- Funcionamiento incorrecto del sistema o los componentes.

2.5.1 Efecto en máquinas rotativas

Debido a las corrientes de Foucault y efecto piel, las pérdidas del estator son superiores a la resistencia de la máquina. Por los flujos de dispersión creados en los terminales del estator y rotor y debido a las altas frecuencias en el hierro generan pérdidas aún más altas.

2.5.2 Efecto en transformadores

La distorsión armónica de tensión aumenta las pérdidas en los transformadores por histéresis y en el aislamiento de este por las corrientes de Foucault. En cuanto a los

armónicos de orden superior generan aumento de pérdidas en el cobre más que los de orden inferior.

2.5.3 Efecto en sistemas de protección

Principalmente se ven afectados aquellos dispositivos digitales basados en el muestreo de información y en los cruces por cero de la onda de tensión y corriente. En general tienden a funcionar lentamente y debido a que son elementos de protección de baja frecuencia son muy sensibles a la presencia de armónicos y se conoce que factores de distorsión del 10% al 20% son críticos para su funcionamiento.

2.5.4 Efecto en el factor de potencia

El factor de potencia es un índice de eficacia del consumo de la potencia y también se ve afectado por la presencia de armónicos. Como resultado negativo tendríamos la reducción de su valor y por la tanto, como se explicó anteriormente, este valor quedaría por debajo de valor del $\cos(\varphi)$.

Capítulo 3

3. EQUIPOS, NORMAS Y PROCEDIMIENTO

En el siguiente trabajo de investigación se realizaron diferentes mediciones de parámetros eléctricos y lumínicos tales como:

- Distorsión armónica total de corrientes THDI
- Distorsión armónica impar de corriente
- Iluminancia
- Intensidad Eléctrica

3.1 EQUIPOS

3.1.1 Analizador de redes Fluke 435 II

Para realizar las mediciones de los armónicos en iluminación LED se utilizará un registrador de redes marca FLUKE modelo 435 Serie II el cual fue facilitado por los laboratorios de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.



Figura 3. Analizador de redes trifásico FLUKE 435.

(Fluke, 2019)

El analizador de redes en cuestión ofrece un conjunto de medidas para comprobar sistemas de distribución eléctrica. Algunos proporcionan una impresión general del rendimiento del sistema de alimentación eléctrica. En este capítulo se ofrece una visión general sobre cómo realizar toma de medidas de armónicos en las redes eléctricas siguiendo un determinado orden.

Los Fluke 435 cuenta con características adicionales tales como parpadeo, transitorios, onda de potencia, transmisión de señales, evento de onda, evento de rms y precisión de la entrada de tensión del 0,1%.

| <u>Descripción</u> | <u>Rango</u> | <u>Precisión</u> |
|--|---------------------------------------|----------------------------------|
| Tensión Vrms (ac+dc) | 1 a 1.000 V | ±0,1 % del valor nominal (FL435) |
| Corriente Arms (ac+dc) | 0 a 20.000 A | ±0,5 % ± 5 recuentos |
| Frecuencia | 42,50 57,50 Hz | ±0,01% |
| Armónicos | D.c., 1 - 50 (desconexión, 1 - 49) | |
| Vatios de potencia, VA, VAR | 1,0 - 20 MVA | ±1,0 % ± 10 recuentos |
| Energía * kWh, kVAh, kVARh | 0,00 - 200,0 GVAh | ±1,5 % ± 10 recuentos |
| Factor de potencia | 0 - 1 | ±0,03 |
| Parpadeo Pst(1 min.), Pst, Plt, PF5 | 0,00 - 20,00 | ±5% |
| Voltios de desequilibrio | 0,0 - 5,0 % | ±0,15% |
| Corriente de desequilibrio | 0,0 - 20 % | ±1% |
| Captura transitoria | ±6.000 V | ±2,5 % de Vrms |
| Tiempo de captura transitorio mín. | ±6.000 V | |
| Irrupción Arms (ac+dc) | 0,00 - 20,00 kA | ±1 % de la medida ± 5 recuentos |

Tabla 2: Especificaciones técnicas FLUKE 435. (Fluke, 2019)

3.1.2 Luxómetro TENMARS TM-204

Para realizar las mediciones del flujo luminoso de las luminarias Led utilizaremos un medidor digital de marca TENMARS modelo Tm – 204 el cual lo utilizamos en el área de laboratorio de construcción de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.



Figura 4. Luxómetro TENMARS TM – 204. (Elicrom, 2019)

EL luxómetro tiene las siguientes especificaciones (Elicrom, 2019):

- Es compatible con unidades de nivel de iluminación luxes [LUX] y fotocandelas [FC].
- Cumple con las normativas JISC 10609:1993 y CNS 5119.
- Indicador de sobrecarga y batería baja.
- Tiene un rango de medida de 200, 2000, 20000 o 200000 LUX o 20, 200, 2000 o 20000 FC.
- Su precisión es de +/- 3% (calibrado a una lámpara incandescente estándar 2856 °K) o bien +/- 8% (otro tipo de fuente lumínica visible)

3.2 NORMAS

3.2.1 Normas Aplicadas a la Distorsión Armónica

Para realizar las mediciones de los armónicos nos basaremos en la norma EN-61000-3-2 la cual trata con mayor profundidad los límites de THD en sistemas de iluminación. Esta norma establece límites para la generación de armónicos de equipos que están conectados a la red de Baja Tensión, asegurando que los voltajes en la red pública satisfagan los límites de compatibilidad definidos.

Esta norma también especifica la emisión de corrientes armónicas inyectadas en el sistema de suministro público por parte de equipos de visualización eléctrica o electrónica que tienen un consumo de corriente menor o igual a 16A por fase en un sistema de baja tensión y se clasifican según los equipos utilizados como sigue:

- **Clase A:** Equipos trifásicos balanceados.
- **Clase B:** Herramientas portátiles.
- **Clase C:** Equipos de Luminosidad.
- **Clase D:** Equipos con consumo de potencia activa menor a 600W.

3.2.1.1 Potencia de Corriente Activa > 25W

Para los equipos de iluminación que tengan una potencia de entrada activa superior a 25W, las corrientes armónicas no deberán exceder los límites relativos dados en la tabla 3. Para equipos de iluminación de descarga con atenuadores incorporados, que se

componen de dimmers o atenuadores independientes construidos en un recinto se aplican las siguientes condiciones:

- Para condiciones de carga máxima, los valores de corriente armónica derivadas de los límites definidos en un porcentaje en la tabla 3 no debe ser sobrepasados.
- Para cualquier posición de regulador de luz, la corriente armónica no debe sobrepasar el valor de la corriente establecida en condiciones de carga máxima.

| Orden del Armónico (n) | Corriente Armónica máxima admisible (%) |
|------------------------|---|
| 2 | 2 |
| 3 | $(30*\lambda)^a$ |
| 5 | 10 |
| 7 | 7 |
| 9 | 5 |
| $11 \leq \pi \leq 39$ | 3 |

λ es el factor de potencia del circuito

Tabla 3: Condiciones armónicas establecidas para luminarias con potencias mayores a 25W. (EPSMA, 2010, pág. 7)

3.2.1.2 Potencia de Corriente Activa $\leq 25W$

Los equipos de iluminación de descarga con una potencia activa de entrada $\leq 25W$ deben respetar que las corrientes armónicas no excederán los límites de potencia de la columna dos de la Tabla 4 o que la corriente del tercer armónico, expresada como porcentaje de la corriente fundamental, no excederá el 86% y la corriente del quinto armónico no excederá del 61%.

| II de armónicos | Corriente armónica máxima permisible por vatio [mA/V] | Corriente armónica máxima permisible [A] |
|-----------------------|---|--|
| 3 | 3,4 | 2,3 |
| 5 | 1,9 | 1,14 |
| 7 | 1 | 0,77 |
| 9 | 0,5 | 0,4 |
| 11 | 0,35 | 0,33 |
| $13 \leq \pi \leq 39$ | $0,85/\pi$ | |

Tabla 4: Condiciones armónicas establecidas para luminarias con potencias menores o iguales a 25W.

(EPSMA, 2010, pág. 7)

3.2.2 Normas Aplicadas al Flujo Luminoso

En vista de que no existe una normativa en la cual nos indique los niveles mínimos de iluminación para interiores en residencias entonces, para el análisis luminoso en las luminarias LED nos guiaremos en dos normas internacionales, ISO 8995 y UNE-EN 12464-1 y en una norma ecuatoriana, el Decreto Ejecutivo 2393 dada por el Ministerio de Trabajo en donde nos explica la iluminación mínima requerida en distintos espacios.

3.2.2.1 Norma ISO 8995

Recomienda parámetros para crear ciertos requisitos de iluminación para interiores necesarios para establecer un equilibrio entre seguridad, salud y ejecución eficiente de labores. A continuación, se explica el significado de las siglas utilizadas en esta norma:

Em: Es la iluminancia mantenida sobre la superficie de referencia medida.

CUD_L: Es la capacidad unificada de deslumbramiento que mide el valor máximo permisible para el deslumbramiento molesto.

Ra: Es el índice mínimo de rendimiento del color para el tipo de interior, tarea o actividad.

En la siguiente tabla se detalla las especificaciones de color y niveles de luminosidad, dependiendo de las tareas y actividades en una determinada área.

| Tipo de interior, tarea o actividad | Em_{lux} | CUD_L | R_a |
|--|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Archivo, copia, circulación etc. | 300 | 19 | 80 |
| Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos | 500 | 19 | 80 |
| Dibujo técnico | 750 | 16 | 80 |
| Estación de trabajo CAD | 500 | 19 | 80 |
| Salas de conferencias y reuniones | 500 | 19 | 80 |
| Buró (carpeta) de recepción | 300 | 22 | 80 |
| Archivos | 200 | 25 | 80 |

Tabla 5: Niveles de luminosidad en interiores. (ISO, 2003)

3.2.2.2 Norma UNE-EN 12464-1

Esta norma especifica los requisitos de iluminación para lugares de trabajo en interiores, que satisfacen las necesidades de confort y prestaciones visuales. Cabe señalar que no es aplicable a la iluminación de lugares de trabajo de exteriores ni en minería en el subsuelo.

| Tipo de interior, tarea o actividad | Em_{lux} | CUD_L | R_a |
|---|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Archivo, copia, etc. | 300 | 19 | 80 |
| Escritura, escritura a máquina, lectura, tratamiento de datos | 500 | 19 | 80 |
| Dibujo técnico | 750 | 16 | 80 |
| Puesto de trabajo de CAD | 500 | 19 | 80 |
| Salas de conferencias y reuniones | 500 | 19 | 80 |
| Mostrador de recepción | 300 | 22 | 80 |
| Archivos | 200 | 25 | 80 |

Tabla 6: Niveles de luminosidad en puesto de trabajo. (AENOR, 2003)

3.2.2.3 Decreto Ejecutivo 2393

En Ecuador existe un decreto el cual describe el reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. Para lo cual nos basaremos en el Art. 56 en el que nos indica que todos los lugares de tránsito y trabajo deberán tener la suficiente iluminación natural o artificial para que el trabajador pueda desempeñar sus labores con seguridad y sin daño para sus ojos. En la siguiente tabla se indican los niveles mínimos de iluminación.

| ACTIVIDADES | ILUMINACIÓN MÍNIMA |
|--|--------------------|
| Pasillos, patios y lugares de paso | 20 luxes |
| Desechos de mercancías, embalaje y servicios higiénicos. | 50 luxes |
| Fabricación de hierro y acero, sala de máquinas y calderos, ascensores. | 100 luxes |
| Taller de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas. | 200 luxes |
| Trabajos de montaje, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía. | 300 luxes |
| Corrección de pruebas, fresado y torneado, dibujo. | 500 luxes |
| Trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montajes de precisión electrónica, relojería | 1000 luxes |

Tabla 7. Niveles de iluminación mínimos para trabajos específicos y similares. (OIT, 2011)

3.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

3.3.1 Distorsión Armónica

Para realizar las mediciones de la distorsión armónica, como se indicó anteriormente, nos basamos en la norma EN-61000-3-2, “Harmonic Current Emissions”, en el punto cinco en donde nos indica la clasificación y límites máximos de los valores de

los armónicos de diferente orden. Esta norma se utiliza para realizar mediciones en aparatos clase C, que son aparatos de luminosidad $\leq 25W$. Entonces, las mediciones de distorsión armónica utilizando el analizador de redes Fluke 435 se realizaron como sigue:

- En la luminaria tipo LED conectada individualmente.
- En la luminaria tipo LED cuando están encendidas las cuatro luminarias de diferente marca de la misma potencia (6W, 12W, 18W o 24W) y el mismo tipo de luz.
- En el PCC cuando el grupo de cuatro luminarias de diferentes marcas de la misma potencia (6W, 12W, 18W o 24W) y mismo tipo de luz están encendidas simultáneamente.

Cabe señalar que las luminarias serán de dos tipos de luz, cálida (3000K) y fría (6500K) por lo que tendremos un total de 72 mediciones con todas las combinaciones antes indicadas.

3.3.1.1 Medición de la Distorsión Armónica

Se realizaron las mediciones de distorsión armónica conectando el analizador de redes Fluke 435 en una luminaria led lo cual tomamos mediciones en dos condiciones siendo la primera cuando está conectada y encendida una lámpara LED y la segunda cuando el grupo de cuatro luminarias están conectadas y encendidas simultáneamente.

Para las mediciones en las distintas condiciones se debe indicar que en primera instancia se encendieron las luminarias durante 10 minutos para obtener su estabilización

en cuanto a la iluminancia y posteriormente las mediciones con el Fluke 435 se tomaron durante cinco minutos, tiempo definido por los autores de este proyecto.

3.3.1.2 Medición de armónicos en una luminaria LED conectada individualmente

Al realizar las mediciones de los armónicos en la luminaria LED conectada independientemente durante cinco minutos, se obtuvo 300 datos que luego en una tabla de Excel serán promediados para obtener los siguientes datos:

- Distorsión armónica total de corriente THD_i
- Distorsión en el 3er y 5to armónico de corriente.

3.3.1.3 Medición de armónicos en el PCC

En este punto se realiza las mediciones en el punto de conexión común cuando el grupo de cuatro luminarias de la misma potencia y mismo tipo de luz están funcionando conjuntamente y asimismo se obtienen los siguientes datos:

- Distorsión armónica total de corrientes THD_i
- Distorsión en el 3er y 5to armónico de corriente.

3.3.2 Parámetros Luminosos

Para realizar la medición de la iluminancia (Lux) se tomaron mediadas utilizando el método de la cuadrícula (Prieta, 2012) que consta en tomar los valores en diferentes

puntos del área de trabajo y realizar un promedio para compararlas con los valores dictados según el decreto ejecutivo 2993 explicado anteriormente.

3.3.2.1 Medición de la iluminancia

En este punto se realizará el método de la cuadrícula para determinar los puntos de muestreo, el índice del local y el número mínimo de puntos de medición teniendo en cuenta que nuestra área de estudio es de un cuarto típico de una vivienda y se tendrá las siguientes consideraciones:

- Para las mediciones de la iluminancia de las luminarias LED utilizaremos un medidor digital de marca TENMARS modelo TM-204.
- Las mediciones se realizaron en dos etapas, en horas del día y en horas de la noche.
- Antes de las mediciones respectivas, las luminarias deberán estar encendidas por un periodo de 10 minutos para su estabilización, al igual que la medición de armónicos.
- Cada medición tendrá una duración mínima de 1 minuto y se trabajará con el último valor indicado en la pantalla.
- Puesto a que se debe dividir el espacio de trabajo en cuadrangulares que requieren iguales niveles de iluminación se tomará las medidas de largo y ancho del cuarto en metros.
- Medir la altura de montaje, que es la distancia entre la luminaria y el plano de trabajo.
- El plano de trabajo deberá estar a una altura de 0,8 m sobre el nivel del suelo.

Editor de locales

Dimensiones del paralelepípedo externo

Longitud: 4.000 m Anchura: 3.000 m

Altura: 2.800 m

Coord. de superficie
 Coord. mundiales

| | x | y | l |
|-----|-------|--------|-------|
| 1 | 0.000 | -0.000 | 4.000 |
| 2 | 4.000 | -0.000 | 3.000 |
| 3 | 4.000 | 3.000 | 4.000 |
| 4 | 0.000 | 3.000 | 3.000 |
| --- | | | |

Insertar coordenadas Eliminar coordenadas

Aceptar Cancelar

Figura 5: Datos del área de medición.

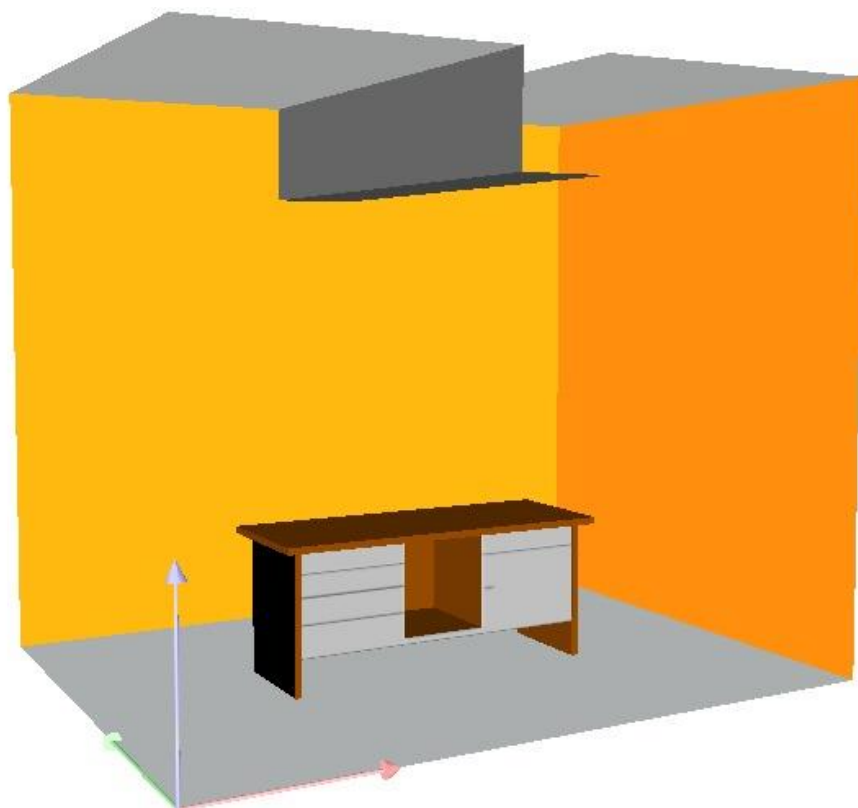


Figura 6: Simulación del área de trabajo en Dialux.

- Aplicamos la fórmula de “K”, que es la relación entre largo, ancho y la altura de montaje.

$$K = \frac{\text{Largo} \times \text{Ancho}}{\text{Altura de montaje} \times (\text{Largo} + \text{Ancho})} \quad (14)$$

- Una vez obtenido el valor de “K”, aplicamos la fórmula para calcular “N”, que es el número mínimo de puntos de medición.

$$N = (x + 2)^2 \quad (15)$$

Donde “x” es el valor del índice del local tomando el valor redondeado del número entero superior, excepto cuando el valor del índice del local es mayor o igual a 3, el valor de “x” será 4.

- Una vez obtenida el número mínimo de puntos de medición se procede a medir el nivel de iluminación en el centro de cada cuadrícula ubicando el luxómetro a la altura del plano del trabajo, el cual estará ubicado a 0,80 m sobre el nivel del suelo.
- Anotar las lecturas correspondientes.
- Luego se debe calcular la Iluminancia media (E_m) que es el valor promedio de todos los valores obtenidos en las cuadrículas.

$$E_m = \frac{\sum \text{valores medidos (lux)}}{\text{Cantidad de puntos medidos}} \quad (16)$$

- Una vez obtenida la iluminancia media verificamos el resultado según lo estipula el Decreto 2993, Art. 56 en la Tabla 6. Según el tipo de área de trabajo.

- En caso de no encontrar el tipo de área de trabajo que se ajuste al lugar en donde se realizó la medición, se deberá buscar la intensidad media de iluminación para diversos tipos de tarea visual que se desarrolla en el lugar.

$$E_{min} \geq \frac{Em}{2} \quad (17)$$

Donde la iluminancia mínima (E_{min}) es el valor mínimo detectado en la medición.

Si se cumple la relación, indica que la uniformidad de iluminación está dentro de lo exigido en la legislación vigente.

- Una vez obtenido la iluminancia media (Em) se procede a verificar la uniformidad de la luminancia.

$$U = \frac{E_{min}}{Em} \quad (18)$$

La uniformidad de la luminancia (U) sobre cualquier área de trabajo no deberá ser inferior a 0,8.

- Por último, la Diversidad de la Iluminancia no deberá ser superior a la relación 5:1 en ningún punto del área de trabajo.

$$D = \frac{E_{max}}{E_{min}} \quad (19)$$

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente estudio que analiza el efecto que producen los armónicos en la red eléctrica se usaron un total de treinta y dos luminarias tipo LED de uso doméstico, divididas en cuatro diferentes potencias de cuatro distintas marcas. Para identificar a dichas marcas se les denominará marca 1, 2 3 y 4.

Luego, se examinaron los armónicos de tercer (H3) y quinto (H5) orden y la distorsión armónica total de corriente (THDi), según la norma EN-61000-3-2 utilizada para este trabajo.

En cuanto a la iluminación de cada una de las luminarias, la lectura medida se comparó con el valor mínimo requerido según se lo establece en el Decreto Ejecutivo 2393 del ministerio del trabajo para luego ser analizadas entre las distintas marcas.

4.1 Análisis del THDi, H3 y H5 de las luminarias medidas individualmente

Para este análisis se utilizó el laboratorio de construcción y reparación del taller de electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca en el que se armó un circuito eléctrico para poder realizar las mediciones de los armónicos con cada tipo de luminaria LED.

En la figura 8 se puede observar mediante el diagrama de barras los armónicos de corriente y se concluye que las ocho luminarias analizadas mediante el analizador de redes Fluke 435 cumplen con la normativa utilizada en la cual nos indica que el H3 y H5 no excederán en 86% y 61% respectivamente.

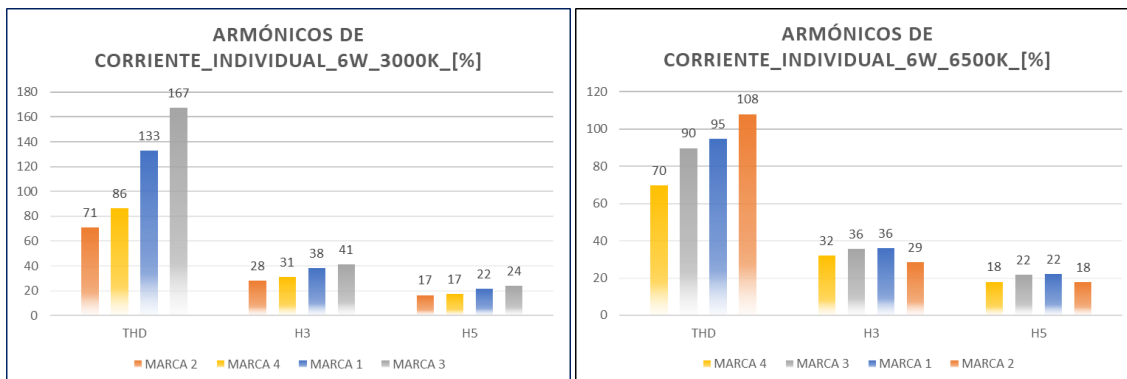


Figura 8. THDi, H3 y H5 de LED's de 6W en luz cálida y fría.

Así mismo, se analizó con luminarias de 12W teniendo como resultado positivo ya que en ninguna de estas los armónicos H3 y H5 superaron el nivel máximo permitido, como se aprecia en la figura 9.

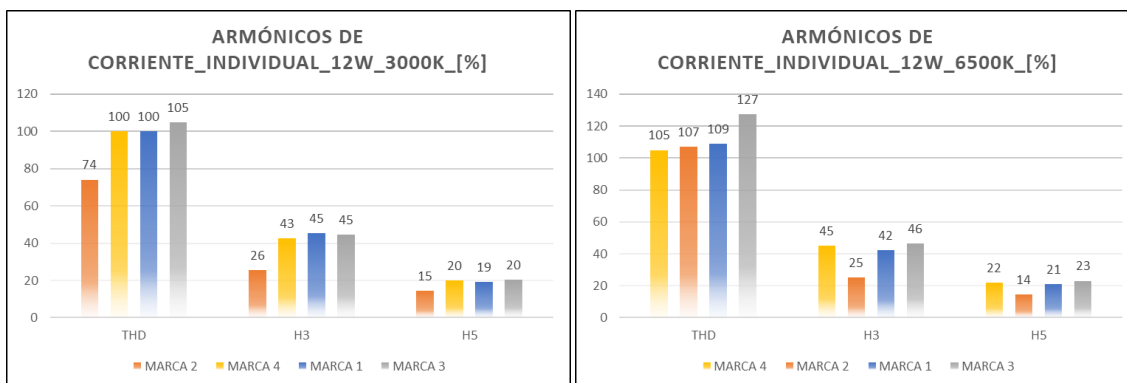


Figura 9. THDi, H3 y H5 de LED's de 12W en luz cálida y fría.

En la figura 10 tenemos las mediciones de armónicos de LED's de 18W y estos tampoco incurren en exceder el porcentaje del valor del tercer y quinto armónicos, es decir; cumplen con la normativa aplicada.

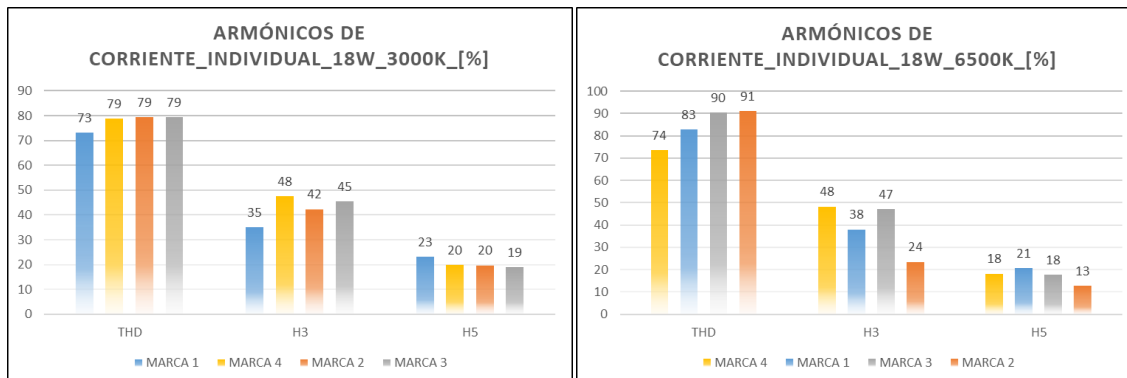


Figura 10. THDi, H3 y H5 de LED's de 18W en luz cálida y fría.

En la figura 11 se tiene la última medición individual de armónicos. Esta vez se lo realizó a luminarias de 24W de potencia. Teniendo como resultado que cumplen con los límites de la norma EN-61000-3-2.

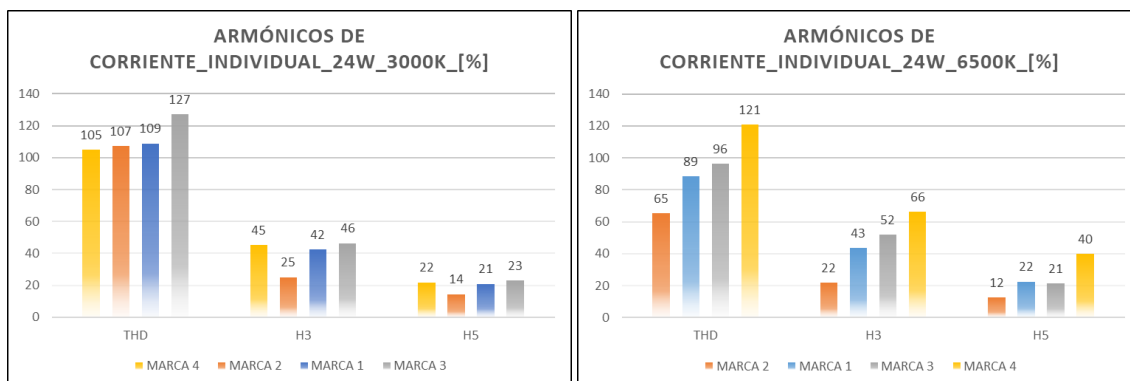


Figura 11. THDi, H3 y H5 de LED's de 24W en luz cálida y fría.

En todas las mediciones anteriores mostradas, desde la figura 8 hasta la figura 11, también se obtuvo los datos de la distorsión armónica total de corriente. Si bien es cierto que en la norma EN-61000-3-2 no trata sobre el THDi, se ha decidido estudiarla para a futuro realizar comparaciones cuando se tiene más luminarias instaladas en el punto de

conexión común o conocido como PCC y de esta manera observar el comportamiento cuando se tiene conectado más luminarias de la misma potencia en dicho punto.

4.2 Análisis del THDi, H3 y H5 de las luminarias medidas en conjunto y en el PCC

En este punto se realizó la medición en cada una de las luminarias con la diferencia que se instalaron tres adicionales en el PCC. Estas tres luminarias adicionales instaladas fueron de las otras tres marcas utilizadas y de la misma potencia. Entonces estas mediciones y conexiones se realizaron con las cuatro potencias utilizadas con los dos tipos de luz, cálida y fría.

Como se aprecia en la figura 12, en las luminarias de 6W de luz cálida se tiene un ligero decremento en el THDi medido en cada luminaria y también cumplen con la norma al no sobrepasar los límites establecidos por esta misma.

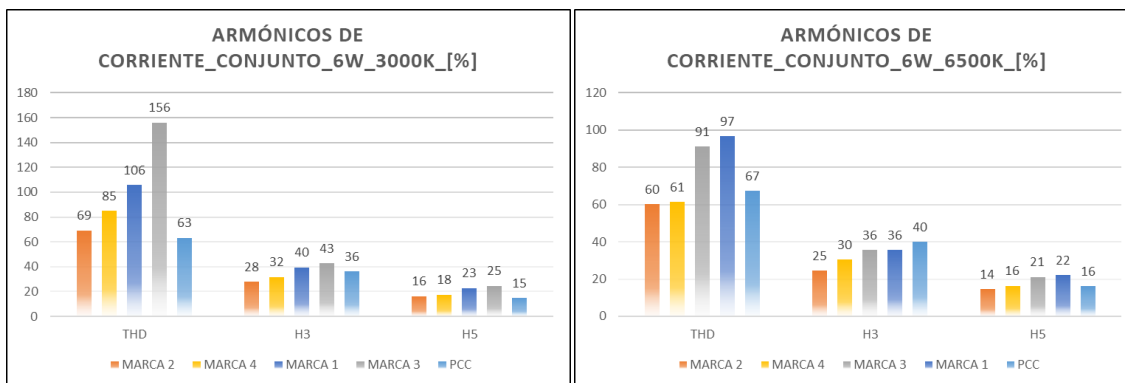


Figura 12. THDi, H3 y H5 de LED's de 6W en luz cálida y fría y del PCC.

También se tiene los armónicos de las luminarias de 12W, como se ve en la figura 13. En este caso se aprecia una reducción considerable del THDi en el PCC comparado las mediciones de cada luminaria y en especial con la luminaria de la marca 3.

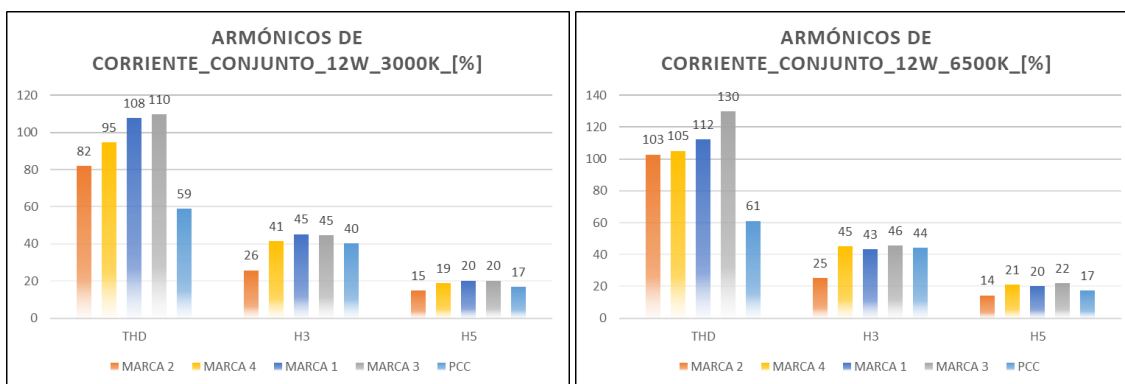


Figura 13. THDi, H3 y H5 de LED's de 12W en luz cálida y fría y del PCC.

En la siguiente figura 14, se tiene las mediciones de las luminarias de 18W de potencia y en este caso al conectar las cuatro luminarias, según las mediciones con el analizador de redes Fluke 435 se tuvo un ligero incremento en el THDi de cada luminaria medida individualmente, pero se obtuvo un decremento brusco del mismo en el PCC.

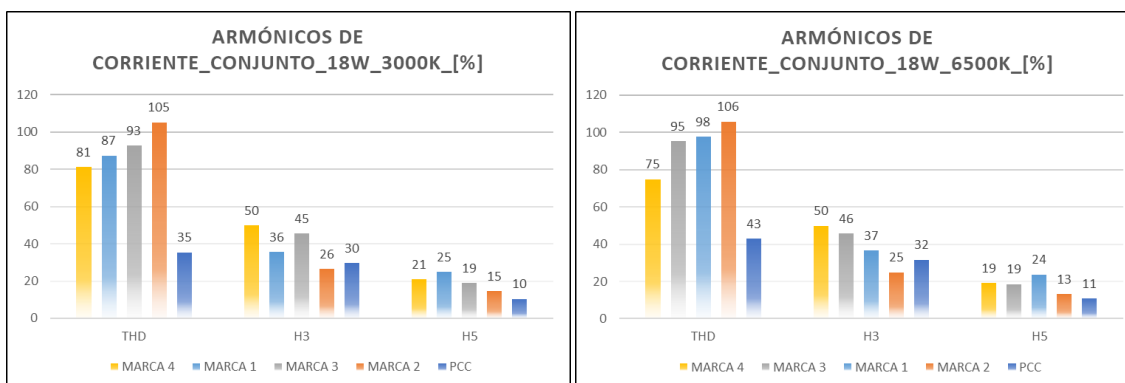


Figura 14. THDi, H3 y H5 de LED's de 18W en luz cálida y fría y del PCC.

En la figura 15 se tiene la última medición en la misma forma que las anteriores con la diferencia que se procedió con las luminarias de 24W y se puede observar también que, a más luminarias instaladas de la misma potencia de diferente marca, el THDi medido en el PCC se reduce considerablemente. Esto lleva a tener una mejor señal sinusoidal y previene fallas en equipos aledaños como se había explicado anteriormente.

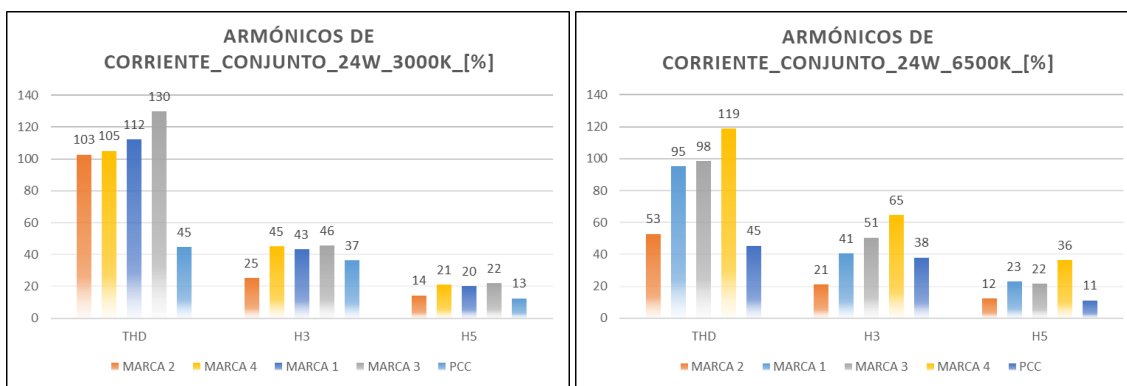


Figura 15. THDi, H3 y H5 de LED's de 24W en luz cálida y fría y del PCC.

4.3 Análisis de la diferencia THDi medida en el PCC

En este punto se analiza la diferencia de la distorsión armónica total de corriente en el PCC cuando se conecta una sola luminaria y cuando están conectadas las cuatro del mismo tipo. Cabe recalcar que, las cuatro luminarias tienen que ser de la misma potencia, del mismo tipo, pero de diferente marca para así obtener una evidente señal de disminución del THDi. Esto se explicó en el apartado de Estado del Arte de este proyecto.

A continuación, en la figura 16 se observa la diferencia del THDi medido en el PCC cuando está funcionando una luminaria y cuando están en funcionamiento las cuatro de manera simultánea. En todos los casos se obtuvo un resultado positivo, que llega a ser la

reducción del THDi en el PCC lo que nos lleva a la validación de los resultados obtenidos en distintos trabajos estudiados en el Estado del Arte.

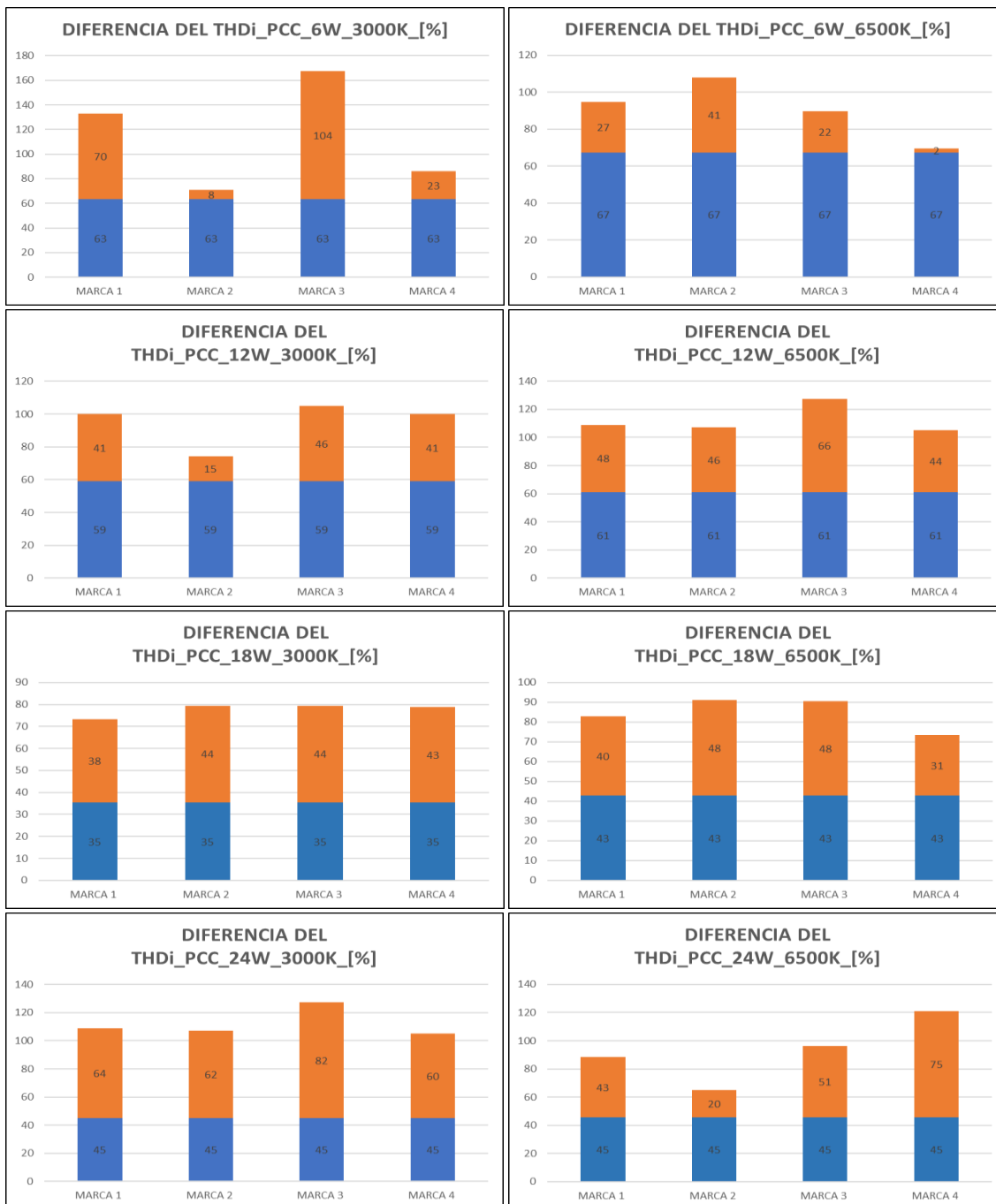


Figura 16. Diferencia del THDi medido en el PCC.

4.4 Formas de onda distorsionada en el PCC

Como es de esperarse, a raíz de la distorsión armónica total de corriente obtenida mediante las mediciones realizadas con el analizador de redes se obtuvo una forma de onda distorsionada en cada grupo de luminarias analizadas, figura 17. Se puede decir que, mientras mayor es la potencia de las luminarias, la onda obtenida intenta asemejarse a una onda sinusoidal siguiendo un patrón similar sin importar el tipo de luz.

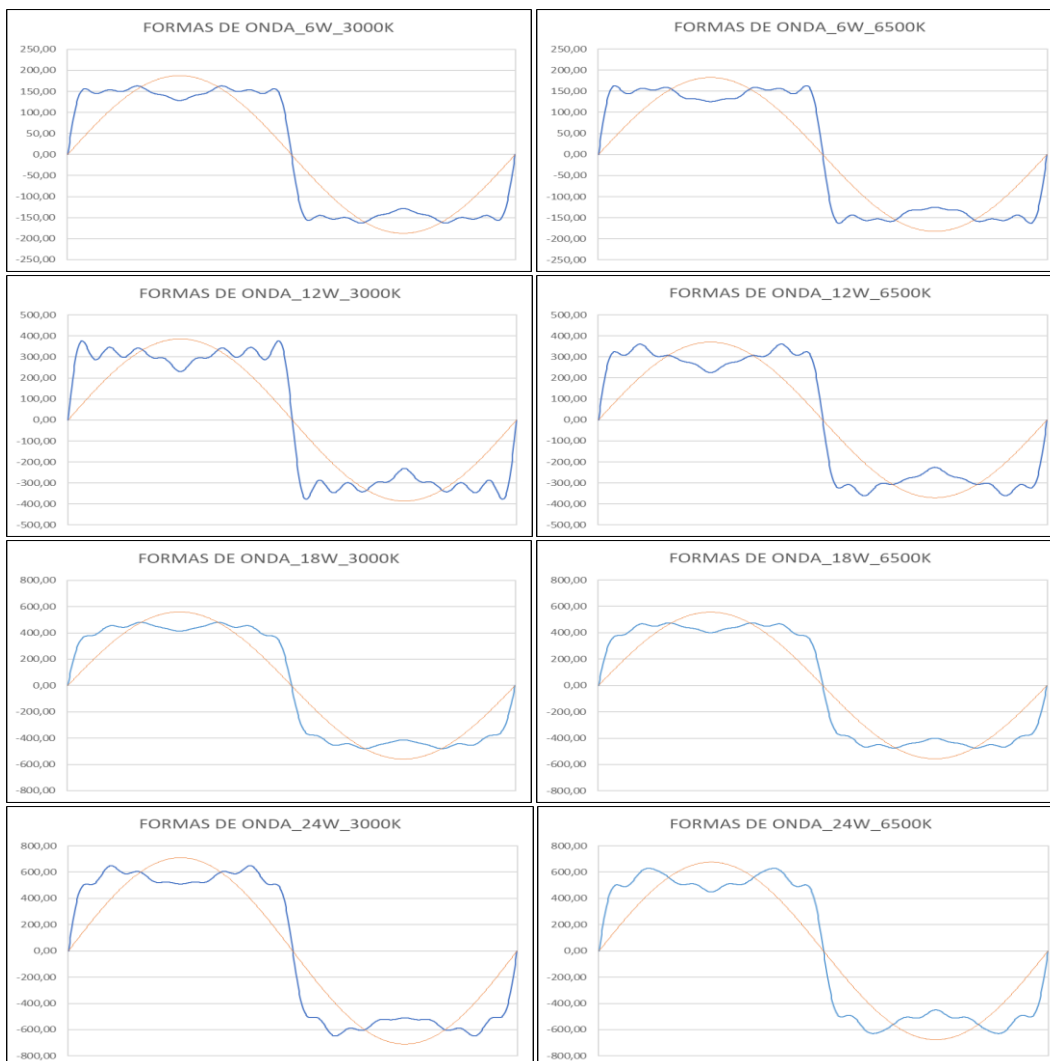


Figura 17. Formas de onda distorsionadas por el THDi.

4.5 Simulación de la Distorsión Armónica en MATLAB

Con los datos obtenidos en el punto anterior, formas de onda distorsionada en el PCC, se procedió a realizar una simulación en MATLAB usando el comando `fft` (Fast Fourier Transform), por sus siglas en inglés, para obtener la distorsión armónica de corriente de los armónicos 3 y 5 y luego ser comparados con los obtenidos en las pruebas realizadas en este trabajo. En la siguiente imagen, figura 18, se muestran las ocho gráficas simuladas en MATLAB de las luminarias con potencias de 6W, 12W, 18W y 24W con los dos tipos de luz, cálida y fría.

Las líneas de código del programa realizado en MATLAB para simular los armónicos de corriente se encuentran en el anexo 11. El mismo código se utilizó para obtener las ocho graficas de la figura 18 para lo cual se modificó los valores de las amplitudes obtenidos en la práctica de cada juego de luminarias.



Figura 18. Armónicos de corriente de las luminarias de 6W, 12W, 18W y 24W en el tipo de luz cálida y fría.

4.6 Análisis de la iluminancia

Los resultados obtenidos para este punto se encuentran en los anexos del 1 al 4 en donde se muestran los valores de iluminancia media (E_m), iluminancia mínima (E_{min}), iluminancia máxima (E_{max}), uniformidad (U) y diversidad (D) de las luminarias de cada marca, potencia y tipo de luz medidas tanto en el día como en la noche. Las fórmulas utilizadas son las explicadas en el punto 3.3.2.1 Medición de la iluminancia.

Se puede apreciar que, en el día, el 66% de las luminarias no cumplen con la iluminancia mínima requerida (100lux) y en la noche el 91% de las luminarias tampoco lo hacen.

En cuanto a la uniformidad se tiene que, en el día, el 87% no cumplen con lo establecido; es decir que la uniformidad tiene que estar por debajo de 0,8 mientras que en la noche este porcentaje se incrementa al 100%.

La diversidad, se debe esperar una relación menor a 5 para cumplir con los parámetros establecidos y en este caso se tiene que todas las luminarias, tanto en el día como en la noche, cumplen con este valor.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de realizar las mediciones con el analizador de redes Fluke 435, se determinó que el tercer armónico es el más peligroso y el que más influye para la distorsión de la onda sinusoidal de la red eléctrica, ya que en todos los casos se obtuvo un valor aproximado del doble comparado con el quinto armónico. Es por esta razón que en equipos de mayores potencias a las trabajadas en este proyecto es recomendable utilizar un filtro de armónicos adicional para evitar las consecuencias de una forma de onda sinusoidal deformada como, por ejemplo, el disparo de protecciones indebidas.

En cuanto a la relación del THDi y las distintas potencias de las diferentes marcas de luminarias, no siguen un mismo patrón o no tienen una curva característica determinada, ya que utilizan un mismo driver para al menos tres potencias (6W; 12W y 18W). Esto quiere decir que, si se tiene un THDi de una luminaria de 6W de una marca en especial no se podría proyectar el THDi de la misma marca en una luminaria de 12W ya que el driver es del mismo tipo.

Ahora, al comparar los armónicos de los dos tipos de luz analizados, fría y cálida, se puede apreciar cierta similitud en cuanto a sus formas de onda se refiere debido a que como se indicó en el párrafo anterior, el controlador tanto para la luz fría (6500K) o para la luz cálida (3000K) son los mismos para las distintas marcas. Entonces, si los drivers utilizados fueran diseñados específicamente para cada tipo de luz y para cada potencia, se

esperaría que los armónicos se reducirían aún más ya que no se tendría un driver que, por ejemplo, soporta 280mA para lo cual se controla una luminaria que exige una demanda de aproximadamente 42mA como es el caso de una las marcas analizadas. Por lo tanto, también se puede apreciar un sobredimensionamiento de la corriente nominal del controlador.

En el estado del arte se estudiaron proyectos que nos indican que a mayor número de luminarias de distintas marcas conectadas en el punto de conexión común (PCC) menor es el impacto de estas corrientes en la onda sinusoidal. En este proyecto se experimentó de una manera similar lo explicado anteriormente ya que, de manera general, el THDi se redujo aproximadamente a la mitad en todos los casos analizados. Lo que nos indica que se tuvo una reducción de armónicos al conectar luminarias de distintas marcas conectadas en el PCC.

En el análisis de la iluminancia solo la luminaria de 24W de la marca 3 del tipo de luz fría cumple con todos los valores establecidos para la iluminancia media, uniformidad y diversidad teniendo en cuenta que las mediciones fueron realizadas en el día. Por lo que, si en un cuarto cualquiera de una vivienda se pretenden instalar luminarias menores a 24W se debe tener en consideración el uso de dos o más luminarias de potencias menores o iguales a la indicada para cumplir con el nivel mínimo de iluminación en dicho cuarto.

En general, los valores de iluminación de la marca 4 fue la que lideró en 15 de las 16 mediciones que se realizó y su valor se incrementó considerablemente según aumentaba la potencia de la luminaria. Es decir, en cuanto a la iluminación promedio la más recomendable son las luminarias de la marca 4 teniendo en consideración que, sin importar el tipo de luz, la iluminancia tenía valores similares tanto en el día como en la noche. Por otra parte, la menos recomendable son las luminarias de la marca 1 debido a que en las 16 mediciones realizadas siempre se obtuvo valores inferiores a las demás luminarias.

Las corrientes de las luminarias se deben también considerar a pesar de su bajo consumo, ya que se mide en miliamperios (mA), comparando en función de su eficiencia. Las luminarias de la marca 1 fueron las más económicas pero las que más consumo tienen en relación a las otras tres marcas y es por esta razón que es la menos eficiente ya que tiene un consumo de corriente superior al resto y su iluminación está por debajo de las demás. Mientras que, las luminarias de la marca 4 fueron las más costosas, pero son las más eficientes en cuanto a consumo de corriente e iluminación se refiere.

ANEXOS

Anexo 1. Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz cálida medidas en el día.

| MARCA_1_3000K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 72 | NO | 73 | NO | 78 | NO | 115 | SI |
| Emin [lux] | 49 | - | 45 | - | 49 | - | 76 | - |
| Emax [lux] | 87 | - | 98 | - | 110 | - | 170 | - |
| U | 0,68 | NO | 0,62 | NO | 0,63 | NO | 0,66 | NO |
| D | 1,78 | SI | 2,18 | SI | 2,24 | SI | 2,24 | SI |

| MARCA_2_3000K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 76 | NO | 74 | NO | 82 | NO | 150 | SI |
| Emin [lux] | 53 | - | 48 | - | 52 | - | 102 | - |
| Emax [lux] | 96 | - | 101 | - | 130 | - | 243 | - |
| U | 0,70 | NO | 0,65 | NO | 0,64 | NO | 0,68 | NO |
| D | 1,81 | SI | 2,10 | SI | 2,50 | SI | 2,38 | SI |

| MARCA_3_3000K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 76 | NO | 76 | NO | 81 | NO | 98 | NO |
| Emin | 60 | - | 63 | - | 69 | - | 78 | - |
| Emax | 91 | - | 95 | - | 104 | - | 139 | - |
| U | 0,79 | NO | 0,83 | SI | 0,85 | SI | 0,79 | NO |
| D | 1,52 | SI | 1,51 | SI | 1,51 | SI | 1,78 | SI |

| MARCA_4_3000K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 80 | NO | 83 | NO | 96 | NO | 161 | SI |
| Emin | 58 | - | 66 | - | 67 | - | 111 | - |
| Emax | 103 | - | 124 | - | 160 | - | 248 | - |
| U | 0,73 | NO | 0,80 | NO | 0,70 | NO | 0,69 | NO |
| D | 1,78 | SI | 1,88 | SI | 2,39 | SI | 2,23 | SI |

Anexo 2. Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz fría medidas en el día.

| MARCA_1_6500K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 60 | NO | 64 | NO | 119 | SI | 130 | SI |
| Emin [lux] | 46 | - | 44 | - | 82 | - | 100 | - |
| Emax [lux] | 74 | - | 101 | - | 184 | - | 176 | - |
| U | 0,77 | NO | 0,69 | NO | 0,69 | NO | 0,77 | NO |
| D | 1,61 | SI | 2,30 | SI | 2,24 | SI | 1,76 | SI |

| MARCA_2_6500K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 68 | NO | 73 | NO | 116 | SI | 126 | SI |
| Emin [lux] | 59 | - | 49 | - | 88 | - | 85 | - |
| Emax [lux] | 79 | - | 103 | - | 156 | - | 185 | - |
| U | 0,87 | SI | 0,67 | NO | 0,76 | NO | 0,67 | NO |
| D | 1,34 | SI | 2,10 | SI | 1,77 | SI | 2,18 | SI |

| MARCA_3_6500K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 58 | NO | 59 | NO | 104 | SI | 109 | SI |
| Emin | 42 | - | 40 | - | 83 | - | 88 | - |
| Emax | 69 | - | 85 | - | 149 | - | 140 | - |
| U | 0,73 | NO | 0,68 | NO | 0,80 | NO | 0,81 | SI |
| D | 1,64 | SI | 2,13 | SI | 1,80 | SI | 1,59 | SI |

| MARCA_4_6500K_día | | | | | | | | |
|-------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 72 | NO | 79 | NO | 159 | SI | 175 | SI |
| Emin | 52 | - | 55 | - | 122 | - | 134 | - |
| Emax | 86 | - | 122 | - | 252 | - | 235 | - |
| U | 0,72 | NO | 0,70 | NO | 0,77 | NO | 0,76 | NO |
| D | 1,65 | SI | 2,22 | SI | 2,07 | SI | 1,75 | SI |

Anexo 3. Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz cálida medidas en la noche.

| MARCA_1_3000K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 19 | NO | 37 | NO | 52 | NO | 66 | NO |
| Emin [lux] | 12 | - | 25 | - | 34 | - | 46 | - |
| Emax [lux] | 29 | - | 67 | - | 95 | - | 124 | - |
| U | 0,65 | NO | 0,67 | NO | 0,66 | NO | 0,69 | NO |
| D | 2,42 | SI | 2,68 | SI | 2,79 | SI | 2,70 | SI |

| MARCA_2_3000K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 23 | NO | 35 | NO | 57 | NO | 101 | SI |
| Emin [lux] | 13 | - | 25 | - | 42 | - | 64 | - |
| Emax [lux] | 34 | - | 58 | - | 101 | - | 198 | - |
| U | 0,57 | NO | 0,72 | NO | 0,73 | NO | 0,64 | NO |
| D | 2,62 | SI | 2,32 | SI | 2,40 | SI | 3,09 | SI |

| MARCA_3_3000K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 17 | NO | 28 | NO | 49 | NO | 53 | NO |
| Emin | 10 | - | 19 | - | 34 | - | 34 | - |
| Emax | 26 | - | 48 | - | 87 | - | 97 | - |
| U | 0,59 | NO | 0,67 | NO | 0,69 | NO | 0,65 | NO |
| D | 2,60 | SI | 2,53 | SI | 2,56 | SI | 2,85 | SI |

| MARCA_4_3000K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 22 | NO | 46 | NO | 74 | NO | 110 | SI |
| Emin | 15 | - | 20 | - | 52 | - | 68 | - |
| Emax | 35 | - | 83 | - | 137 | - | 207 | - |
| U | 0,68 | NO | 0,44 | NO | 0,71 | NO | 0,62 | NO |
| D | 2,33 | SI | 4,15 | SI | 2,63 | SI | 3,04 | SI |

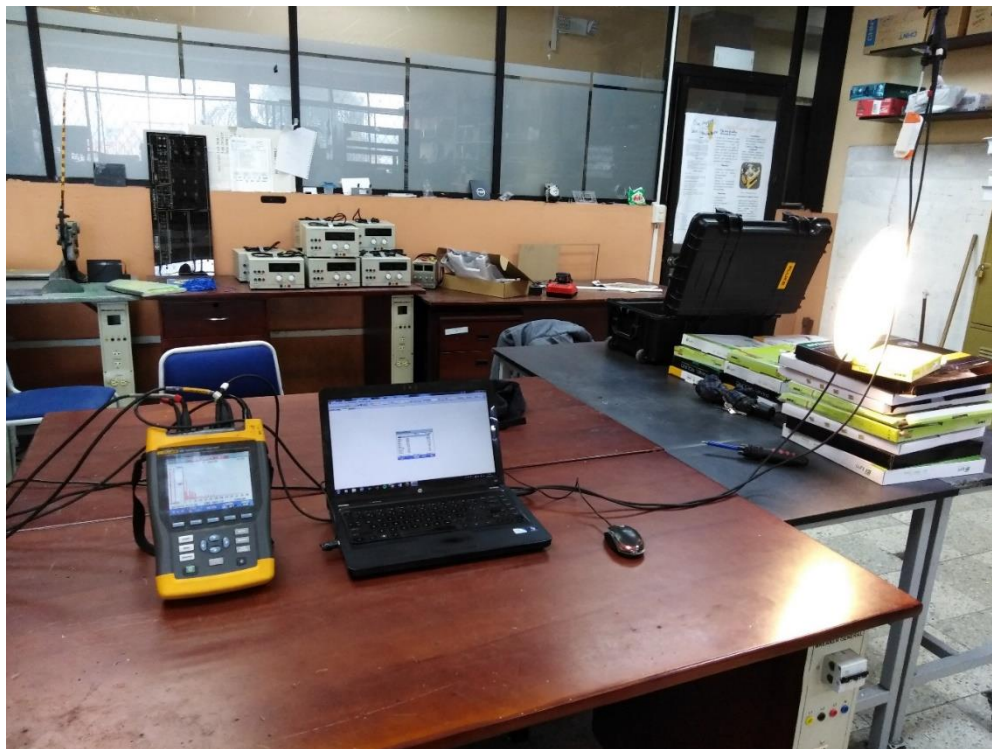
Anexo 4. Em, Emin, Emax, U y D de luminarias de luz fría medidas en la noche.

| MARCA_1_6500K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 19 | NO | 38 | NO | 58 | NO | 78 | NO |
| Emin [lux] | 11 | - | 26 | - | 34 | - | 52 | - |
| Emax [lux] | 30 | - | 66 | - | 108 | - | 147 | - |
| U | 0,58 | NO | 0,68 | NO | 0,58 | NO | 0,67 | NO |
| D | 2,73 | SI | 2,54 | SI | 3,18 | SI | 2,83 | SI |

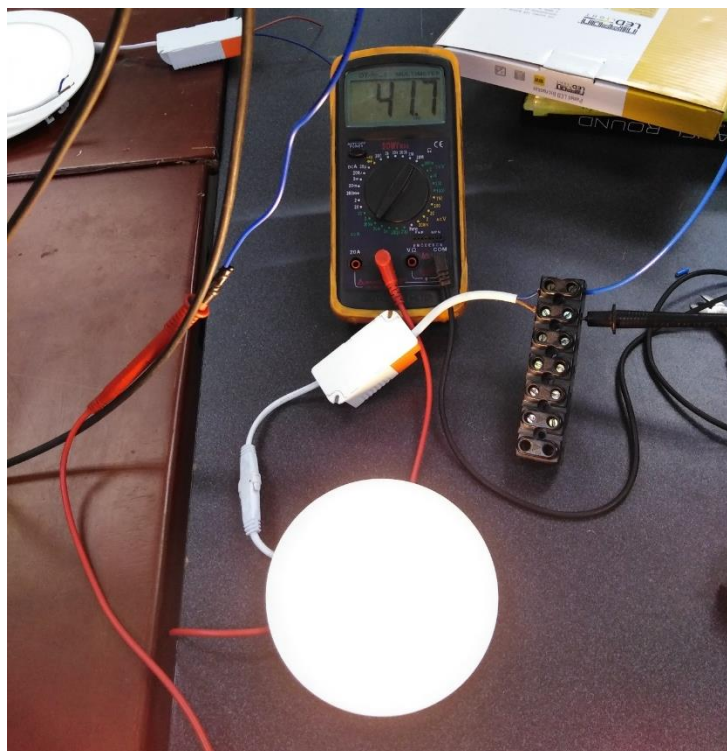
| MARCA_2_6500K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em [lux] | 19 | NO | 37 | NO | 59 | NO | 76 | NO |
| Emin [lux] | 13 | - | 22 | - | 30 | - | 48 | - |
| Emax [lux] | 29 | - | 63 | - | 108 | - | 148 | - |
| U | 0,67 | NO | 0,60 | NO | 0,51 | NO | 0,63 | NO |
| D | 2,23 | SI | 2,86 | SI | 3,60 | SI | 3,08 | SI |

| MARCA_3_6500K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 17 | NO | 32 | NO | 43 | NO | 58 | NO |
| Emin | 12 | - | 21 | - | 28 | - | 39 | - |
| Emax | 25 | - | 54 | - | 78 | - | 105 | - |
| U | 0,69 | NO | 0,66 | NO | 0,65 | NO | 0,67 | NO |
| D | 2,08 | SI | 2,57 | SI | 2,79 | SI | 2,69 | SI |

| MARCA_4_6500K_noche | | | | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
| | 6W | CUMPLE | 12W | CUMPLE | 18W | CUMPLE | 24W | CUMPLE |
| Em | 25 | NO | 48 | NO | 82 | NO | 108 | SI |
| Emin | 15 | - | 32 | - | 58 | - | 75 | - |
| Emax | 39 | - | 86 | - | 150 | - | 215 | - |
| U | 0,60 | NO | 0,67 | NO | 0,71 | NO | 0,70 | NO |
| D | 2,60 | SI | 2,69 | SI | 2,59 | SI | 2,87 | SI |

Anexo 5. Pruebas de armónicos en luminarias de 18W**Anexo 6.** Descarga de datos del Fluke 435 a la computadora

Anexo 7. Medición de armónicos de una luminaria de 12W**Anexo 8. Captura de pantalla en el Fluke 435**

Anexo 9. Valor medido de luminosidad sobre el plano de trabajo**Anexo 10.** Valor medido de corriente en una luminaria de 6W

Anexo 11. Líneas de código para graficar los armónicos de corriente en Matlab

```

clc
clear all
close all

Fs=250000;
te=1/Fs;
L=10000;
t=(0:L-1)*te;
f=60;

Af=676.4;
Af3=257.56;
Af5=76.25;
Af7=44.38;
Af9=47.78;
Af11=51.24;
Af13=19.60;
Af15=17.99;

yf=Af*sin(2*pi*f*t);
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(t,yf);
hold on

y3=Af3*sin(2*pi*3*f*t);
y5=Af5*sin(2*pi*5*f*t);
y7=Af7*sin(2*pi*7*f*t);
y9=Af9*sin(2*pi*9*f*t);
y11=Af11*sin(2*pi*11*f*t);
y13=Af13*sin(2*pi*13*f*t);
y15=Af15*sin(2*pi*15*f*t);

y1=yf+y3+y5+y7+y9+y11+y13+y15;

subplot(2,1,1)
plot(t,y1);

grid on ;
axis([0 0.04 -800 +800])
xlabel('\itTiempo en segundos \rightarrow');
ylabel('\itAmplitud de la onda \rightarrow');
title('\itFormas de onda ');

subplot(2,1,2)

np=round(1/(60*te));%numero de puntos para forma un ciclo
for n=1:np
    y1_para_fft(n)=y1(n);

```


LISTA DE REFERENCIAS

Bibliografía

- AENOR. (octubre de 2003). *Enerfigente*. Obtenido de https://enerfigente.files.wordpress.com/2015/08/une-en_12464-12003.pdf
- Barbosa, A. F., Noguera, L. A., & Giral, W. M. (julio-diciembre de 2017). Análisis de distorsión armónica en iluminación LED. *Vínculos*, 14(2), 95-107.
doi:<https://doi.org/10.14483/2322939X.12520>
- Donald, G. F., & Wayne, B. (2001). *Manual de Ingeniería Eléctrica* (Vol. II). México: OFGLOMA S.A.
- Elicrom. (2019). *Elicrom*. Obtenido de <http://elicrom.com/luxometro-tm-204/>
- EPSMA, A. (06 de abril de 2010). Harmonic Current Emissions.
- Factorled. (2019). *Factorled*. Obtenido de <https://www.factorled.com/es/drivers-led/1193-driver-para-luminarias-led-de-40w-1000ma-8980218010928.html>
- Fluke. (2019). *Fluke*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-ve/producto/comprobacion-electrica/analizadores-de-calidad-electrica/analizadores-trifasicos-de-calidad-electrica/fluke-435-series-ii>
- ISO. (octubre de 2003). *Scribd*. Obtenido de <https://www.scribd.com/doc/149032995/ISO-8995-Iluminacion-de-Puestos-de-Trabajo-en-Interiores>
- Jettanasen, C., & Pothisarn, C. (12 de marzo de 2014). Analytical Study of Harmonics Issued from LED Lamp Driver. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*, 2.
- Ledbox. (2019). *Ledbox*. Obtenido de <https://blog.ledbox.es/informacion-led/luminarias-led-de-alta-calidad-elementos-fundamentales>
- LedBox. (2019). *LEDBOXNews*. Obtenido de <https://blog.ledbox.es/noticias-2/12-ventajas-iluminacion-led>
- Lincango, E. (febrero 2015). *Modelación del THD en los Sistemas de Alimentación Residencial Universidad Politécnica Salesiana, febrero 2015, Quito*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- OIT. (2011). <http://www.trabajo.gob.ec>. Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-de-los-Trabajadores-y-Mejoramiento-del-Medio-Ambiente-de-Trabajo-Decreto-Ejecutivo-2393.pdf>
- Optical. (2019). *Optical*. Obtenido de <https://optical.com.ar/producto/luminaria-redonda-ultra-delgada-de-embutir-12w-luz-calida/>
- Pinargote, F., & Castro, C. (2018). *Estudio de Armónicos Producidos por la Iluminación Tipo Fluorescente y LED en un Aula del Bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.
- Prieta. (25 de enero de 2012). *Pietra seguridad laboral*. Obtenido de <http://grupopietra.com/wp-content/docs/legislacion/RESOLUCION%20SRT%2084-12%20-%20PROTOCOLO%20DE%20MEDICION%20DE%20ILUMINACION.pdf>

- Sylvania, H. (2016). *SYLVANIA*. Obtenido de <http://www.sylvania.com.ec/wp-content/uploads/2016/02/Cat%C3%A1logo-Luminarias-LED-2016.pdf>
- Uddin, S., Shareef, H., Mohamed, A., & Hannan, M. (2012). Harmonics and thermal characteristics of low wattage LED lamps. *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, 88.