

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD



**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR, MODALIDAD PRESENCIAL**

TEMA:

**PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS
LÁMPARAS LED EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD
TÉCNICA DEL NORTE.**

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Línea de investigación: Biotecnología, energía y recursos naturales renovables

AUTOR:

Esteban Andrés Arroyo Vega

DIRECTOR:

MSc. Isabel Marina Quinde Cuenca

Ibarra, julio 2024



1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 172723156-3 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Arroyo Vega Esteban Andrés | | |
| DIRECCIÓN: | Cayambe | | |
| EMAIL: | eaarroyov@utn.edu.ec | | |
| TELÉFONO FIJO: | (02) 2115-321 | TELÉFONO MÓVIL: | 0980099082 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TÍTULO: | PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS LÁMPARAS LED EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. |
| AUTOR (ES): | Arroyo Vega Esteban Andrés |
| FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA | 23/07/2024 |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero(a) Eléctrico(a) |
| ASESOR /DIRECTOR: | Ing. Isabel Quinde MSc. |

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de julio de 2024

EL AUTOR:

(Firma).....

Esteban Andrés Arroyo Vega



**CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR**

Yo, Isabel Marina Quinde Cuenca en calidad de director del señor estudiante Arroyo Vega Esteban Andrés certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: "PROPUESTA DE MITIGACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LAS LÁMPARAS LED EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE"

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Ing. Isabel Quinde MSc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



REPÚBLICA DEL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



DEDICATORIA

Este trabajo investigativo quiero retribuirle a Dios por ser el artífice de mi existencia a través de mis amados padres quienes me inculcaron los valores morales que me permitieron desarrollarme en tal hidalga profesión.

También quisiera agradecer a mi madre y padre, quien siempre me ha animado y sido un ejemplo, quien con su perseverancia y guía me ha mostrado las razones para superarme constantemente para lograr muchas metas en la vida.

Arroyo, V. Esteban, A.



REPÚBLICA DEL

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Acreditada Resolución Nro. 173-SE-33-CACES-2020

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD



AGRADECIMIENTOS

Agradezco y retribuyo a Dios por la paciencia, sabiduría y comprensión que me ha inculcado para seguir adelante con perseverancia y valentía ante cualquier situación adversa que se presente.

Mamá y Papá, gracias por tu esfuerzo, compromiso y consejos alentadores, los amo mucho y espero poder compartir con ustedes todos los logros de mi vida.

Queridos docentes; quienes me han formado ética y profesionalmente a lo largo de mi carrera académica, especialmente MSc. Isabel Quinde, quien con su profundo conocimiento y amabilidad colaboró conmigo en la realización de este trabajo.

Arroyo, V. Esteban, A.



Contenido

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN | 15 |
| ABSTRACT | 16 |
| CAPITULO I | 17 |
| INTRODUCCIÓN | 17 |
| El problema..... | 20 |
| 1.1 Problema de investigación..... | 20 |
| 1.1.1 Problemática a investigar..... | 21 |
| 1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación | 21 |
| 1.2 Objetivos..... | 22 |
| 1.2.1 Objetivo General..... | 22 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 22 |
| 1.3 Alcance | 23 |
| 1.3.1 Delimitación | 23 |
| 1.4 Justificación | 24 |
| CAPÍTULO II | 25 |
| MARCO TEÓRICO | 25 |
| 2.1 Antecedentes | 25 |
| 2.2 Bases teóricas | 26 |



| | |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.3 Tipos de cargas en un sistema eléctrico | 26 |
| 2.3.1 Carga lineal | 27 |
| 2.3.2 Carga no lineal | 28 |
| 2.4 Perturbaciones Eléctricas | 31 |
| 2.4.1 Flicker (Parpadeo) | 31 |
| 2.4.2 Variación de tensión | 31 |
| 2.4.3 Huecos de tensión | 31 |
| 2.4.4 Sobretensiones temporales | 32 |
| 2.4.5 Interrupción de alimentación | 33 |
| 2.5 Armónicos | 34 |
| 2.5.1 Fuentes de armónicos | 35 |
| 2.5.2 Efectos de los armónicos | 35 |
| 2.5.3 Distorsión armónica total | 35 |
| 2.6 Normativas y Regulaciones | 36 |
| 2.6.1 Índices de calidad | 36 |
| 2.6.2 Calidad de producto | 36 |
| 2.6.3 Niveles de voltaje | 37 |
| 2.6.4 Límites de voltaje | 37 |
| 2.6.5 Límite de perturbación rápida de voltaje (FLICKER) | 38 |



| | |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.6.6 Límite de distorsión armónica de voltaje | 38 |
| 2.6.7 Desequilibrio de Voltaje..... | 39 |
| 2.7 Tipos de filtros para un sistema eléctrico | 39 |
| 2.7.1 Filtros pasivos | 40 |
| 2.7.2 Filtros activos | 43 |
| CAPÍTULO III | 47 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 47 |
| 3.1 Descripción del lugar de estudio | 47 |
| 3.2 Descripción de la Metodología..... | 49 |
| 3.3 Diseño de la investigación..... | 49 |
| 3.4 Procedimiento General | 50 |
| 3.4.1 Recopilación de información bibliográfica | 51 |
| 3.4.2 Reconocimiento de las instalaciones físicas | 51 |
| 3.4.3 Instalación de equipos de medición..... | 51 |
| 3.4.4 Adquisición de datos a través del analizador de redes | 52 |
| 3.4.5 Depuración de la información..... | 52 |
| 3.4.6 Análisis de datos..... | 52 |
| 3.4.7 Propuesta de mitigación..... | 52 |
| 3.5 Materiales | 53 |



| | | |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.5.1 | Equipo Analizador de Red Metrel PowerQ4 Plus | 53 |
| 3.5.2 | Software Metrel PowerView v2.0 | 56 |
| 3.5.3 | Tipos de Luminarias LED | 57 |
| 3.5.4 | Magnitudes de funcionamiento del sistema..... | 60 |
| 3.5.5 | Distorsión armónica de voltaje | 60 |
| 3.6 | Métodos, técnicas e instrumentos | 62 |
| 3.6.1 | Método de análisis de restricción de contaminación en luminarias LED | 62 |
| 3.6.2 | Método de Topografía de filtros | 62 |
| 3.6.3 | Método de Extrapolación..... | 63 |
| CAPITULO IV | | 65 |
| RESULTADOS Y ANÁLISIS | | 65 |
| 4.1 | Levantamiento de información lumínica | 65 |
| 4.1.1 | Primer Piso | 65 |
| 4.1.2 | Segundo Piso | 67 |
| 4.1.3 | Tercer Piso..... | 69 |
| 4.1.4 | Cuarto Piso | 70 |
| 4.1.5 | Quinto Piso | 72 |
| 4.2 | Tablero Experimental..... | 73 |
| 4.3 | Análisis de armónicos presentes en las luminarias LED..... | 75 |



| | | |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.1 | Análisis de armónicos generados por los tipos de luminarias LED | 76 |
| 4.3.2 | Análisis de armónicos generados por todos los tipos de luminarias LED | 79 |
| 4.3.3 | Análisis de los armónicos generados por las combinaciones de luminarias conectadas en cada fase..... | 80 |
| 4.3.4 | Análisis de los armónicos generados por los tipos de luminarias conectadas a un sistema trifásico | 84 |
| 4.4 | Extrapolación de luminarias LED. | 85 |
| 4.4.1 | Extrapolación marca LEDEX..... | 86 |
| 4.4.2 | Extrapolación marca American lite | 88 |
| 4.4.3 | Extrapolación marca Silvana | 90 |
| 4.5 | Propuesta de mitigación de armónicos..... | 92 |
| | Conclusiones..... | 97 |
| | Recomendaciones..... | 97 |
| | Referencias bibliográficas..... | 98 |
| | Anexos..... | 103 |



INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Onda sinusoidal de tensión y corriente de una carga lineal [7]..... 27

Figura 2: Onda sinusoidal de tensión y corriente de una carga no lineal. [7] ... 28

Figura 3: Lámpara fluorescente [9] 29

Figura 4 Diagrama de Tubo LED [10] 30

Figura 5: Huecos de tensión [14]..... 32

Figura 6: Sobretensión temporal [14]..... 33

Figura 7: Características que afectan al valor eficaz de la tensión [15] 34

Figura 8: Filtros pasivos [20]..... 40

Figura 9 Filtro pasivo aplicado en un sistema eléctrico de potencia [21] 41

Figura 10: Aplicación de filtro pasa alto o amortiguador [20] 43

Figura 11: Circuito de filtro activo de conexión paralelo [23] 45

Figura 12: Filtro activo de conexión serie [23] 46

Figura 13: Campus - "El Olivo" Universidad Técnica del Norte [24] 47

Figura 14: Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas 48

Figura 15 Tablero General FICA..... 48

Figura 16 Metodología aplicada al estudio de luminarias LED 50

Figura 17: Analizador de redes MetrelQ4 PLUS 54

Figura 18. Software Metrel PowerQ4 - Pantalla Principal..... 56

Figura 19: Porcentaje luminarias Primer Piso 67

Figura 20: Porcentaje luminarias Segundo piso 68

Figura 21: Porcentaje luminarias tercer piso 70

Figura 22: Porcentajes luminarias cuarto piso..... 71



| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 23: Porcentaje de luminarias quinto piso | 73 |
| Figura 24: Conexión Analizador de redes MetrelQ4Power a Centro de Carga . | 74 |
| Figura 25 Tablero Experimental de iluminación..... | 75 |
| Figura 26: Diagrama de barras luminarias LEDEX. | 87 |
| Figura 27: Diagrama de barras luminarias American Lite. | 89 |
| Figura 28: Diagrama de Barras luminarias Silvana..... | 91 |



INDICE DE TABLAS

| | |
|-------------------|----|
| Tabla I..... | 37 |
| Tabla II | 38 |
| Tabla III..... | 39 |
| Tabla IV | 54 |
| Tabla V | 55 |
| Tabla VI..... | 57 |
| Tabla VII..... | 58 |
| Tabla VIII..... | 59 |
| Tabla IX..... | 66 |
| Tabla X..... | 67 |
| Tabla XI..... | 69 |
| Tabla XII..... | 70 |
| Tabla XIII..... | 72 |
| Tabla XIV | 76 |
| Tabla XV | 77 |
| Tabla XVI..... | 78 |
| Tabla XVII..... | 79 |
| Tabla XVIII | 80 |
| Tabla XIX..... | 82 |
| Tabla XX | 83 |
| Tabla XXI..... | 84 |
| Tabla XXII..... | 85 |



| | |
|--------------------|----|
| Tabla XXIII | 86 |
| Tabla XXIV | 88 |
| Tabla XXV | 90 |
| Tabla XXVI | 92 |
| Tabla XXVII..... | 93 |
| Tabla XXVIII | 94 |
| Tabla XXIX..... | 95 |



RESUMEN

El presente proyecto se desarrolló en la Facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, enfocándose en la mitigación de la influencia de las lámparas LED, puesto que la implementación de varios tipos de luminarias ha producido armónicos en la red eléctrica, por lo cual se describe los parámetros eléctricos donde están presentes las perturbaciones armónicas, lo cual se apoya bajo la normativa vigente como la regulación No. ARCERNNR -002/20 (Agencia de Regulación y Control Eléctrico de Recursos Naturales No Renovables); además de utilizar el método idóneo en mitigación de las perturbaciones ocasionadas por la utilización de diferentes luminarias en la red de iluminación de la Facultad; dicho método es el método del análisis de restricción de contaminantes en las luminarias; además de realizar una extrapolación de las mismas, diferenciando sus características en función de su durabilidad, además de realizar el análisis de topografía de filtros y de resolución de circuitos express, por medio de leyes fundamentales de la electricidad; el diagnóstico de la red de iluminación se realizó con el analizador de red Metrel PowerQ4 Plus, el cual arrojo datos de distorsiones armónicas en dicha red y el software Metrel Power View v2.0, el cual permite la visualización de los porcentajes armónicos encontrados; finalmente se propone soluciones a la problemática encontrada con el método de análisis de las restricciones de contaminación de luminarias LED, denotando la factibilidad del tipo de luminaria en marca a utilizar en la red eléctrica de la facultad; concluyendo que el método utilizado en mitigación de fluctuaciones de onda utilizado es idóneo por aspectos económicos y de tiempo para ejecutarse.

Palabras clave: Luminarias; LED; Extrapolación; Perturbaciones; Armónicos.



ABSTRACT

This project was developed at the Faculty of Applied Sciences of the Universidad Técnica del Norte, focusing on mitigating the influence of LED lamps, since the implementation of various types of luminaires has produced harmonics in the electrical network, which is why The electrical parameters where harmonic disturbances are present are described, which is supported by current regulations such as regulation No. ARCERNNR -002/20 (Agency for Electrical Regulation and Control of Non-Renewable Natural Resources); in addition to using the ideal method to mitigate the disturbances caused by the use of different luminaires in the Faculty's lighting network; Said method is the method of contaminant restriction analysis in luminaires; in addition to carrying out an extrapolation of them, differentiating their characteristics based on their durability, in addition to carrying out the analysis of filter topography and resolution of express circuits, through fundamental laws of electricity; The diagnosis of the lighting network was carried out with the Metrel PowerQ4 Plus network analyzer, which provided data on harmonic distortions in said network and the Metrel Power View v2.0 software, which allows the visualization of the harmonic percentages found; Finally, solutions are proposed to the problems encountered with the method of analysis of the contamination restrictions of LED luminaires, denoting the feasibility of the type of luminaire in brand to be used in the electrical network of the faculties; concluding that the method used to mitigate wave fluctuations is ideal due to economic and time aspects to be executed.

Keywords: Luminaires; LED; Extrapolation; Disturbances; Harmonics.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La industria de la iluminación ha revolucionado gradualmente con la supresión y reemplazo de las lámparas fluorescentes, lámparas incandescentes y lámparas con filamentos de tungsteno por lámparas de tecnología LED, su desarrollo se debe a su alta eficiencia, confiabilidad, bajo consumo de energía y durabilidad [1].

La investigación y el desarrollo de dispositivos de estado sólido ha revolucionó la industria de la iluminación, liderando el camino con diodos emisores de luz (LED). Durante las últimas décadas los LED han madurado para ser más sobresalientes, más duraderos y eficientes. Las lámparas LED poseen una mayor salida de luz por entrada de energía eléctrica que sus precursores por lo que son más eficientes, las bombillas incandescentes y fluorescentes compactas (LFC). No solo esto, sino que también poseen una vida útil más larga, lo que reduce aún más el impacto ambiental y monetario [2]

El consumo de electricidad entre los años 2015 y 2030 de economías emergentes y en desarrollo, se incrementará en un 127% de no aplicarse medidas tendientes a la reducción del consumo eléctrico [3].

En países como Estados Unidos, en el estado de Texas varias ciudades como Austin, San Antonio, Houston y El Paso han completado o están actualmente en proceso de modernizar sus luminarias de energía con farolas LED de alta eficiencia. En los EE. UU. ha habido más de una docena de ciudades grandes y medianas, desde Chicago hasta



Boise, que han completado proyectos de modernización o están en proceso de reemplazar sus farolas con nuevas farolas LED eficientes [4].

En Ecuador en el 2016 se ha ejecutado proyectos de expansión y mantenimiento del servicio de alumbrado público con tecnología LED en diferentes sectores de la ciudad de Ibarra y Atuntaqui, que contribuyen al ahorro energético sobre el 80% por equipo instalado. Se ha implementado campañas para incentivar a la ciudadanía del área de concesión de la Empresa a ser partícipes del Programa de cocción eficiente y calentamiento de agua (PEC), así como también para incentivar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica [5].

Desde fines de 2006, al menos 37 países (como Australia, Canadá, Colombia, Cuba, Rusia y países de la Unión Europea, entre otros) han fijado políticas tendientes a la prohibición de la producción, importación y venta de lámparas incandescentes. Otros países, como China, están considerando su adopción. Los países comprometidos con esta política representan la mayoría de las economías de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y suman más de un tercio de la demanda mundial de lámparas incandescentes. Como reemplazante cercano de la lámpara incandescente se posiciona la LFC, la cual es capaz de proveer el mismo flujo lumínico con menor potencia activa, alrededor de una quinta parte. Esta ventaja se contrapone con el nivel de corrientes armónicas que estas lámparas inyectan a la red, de modo que una alta concentración de ellas en un punto de la red puede ocasionar una deformación de la onda de tensión más allá de los límites impuestos por las normas [5].



En los últimos años han tenido una gran difusión las lámparas LED, que buscan establecerse en el mercado como una opción más, este lugar será conquistado muy posiblemente en pocos años, debido a un rendimiento lumínico en [lm/W] similar a las LFC y que viene en constante aumento con las nuevas tecnologías aplicadas. Si bien actualmente su principal ventaja es su reducido costo, poseen una larga vida útil de 25000 a 50000 horas según la marca y modelo, frente a las 3000 a 10000 horas de las LFC. Las lámparas LED, además abarcan una amplia gama de colores, que las hace muy atractivas para crear efectos decorativos, y son “dimerizables”; esto permite regular su intensidad lumínica de acuerdo con la necesidad de uso, lo cual favorece el ahorro energético [5].



El problema

1.1 Problema de investigación

Con el pasar de los años las luminarias de bajo consumo han ido evolucionando por su eficiencia, durabilidad, ahorro energético y calidad de iluminación, las cuales en su comienzo eran las bombillas incandescentes que contaban con un ciclo de vida medio de tan solo 750 horas, las bombillas alógenas que contaban con un ciclo de vida de 1000 horas, después con las lámparas LFC (Lámparas fluorescentes compactas) su vida útil se aumentó en 10 veces.

Con la mezcla de todas las tecnologías anteriores se crearon las lámparas LED (Light Emitting Diodes) las cuales por su eficiencia y su bajo consumo energético han experimentado un incremento en el mercado. Las luminarias LED por su principio de funcionamiento son consideradas cargas no lineales y por ello es necesario realizar un análisis del impacto de las perturbaciones armónicas producidas por este tipo de luminarias en las redes eléctricas.

Los problemas causados por los armónicos de corriente o tensión pueden ser muy severos, tanto para las propias cargas perturbadoras, como para el sistema en general, deteriorando notoriamente el comportamiento normal de funcionamiento de las cargas, así como también generando pérdidas de energía no deseadas.



1.1.1 Problemática a investigar

En la facultad de ingeniería en ciencias aplicadas de la Universidad Técnica del Norte la utilización de lámparas led como luminarias influyen en la producción de perturbaciones armónicas.

1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cómo realizar un análisis de las perturbaciones que introducen las luminarias LED en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte para realizar una propuesta de mitigación?



1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo General*

Realizar una propuesta de mitigación del impacto por el funcionamiento de las lámparas LED en el edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, mediante un análisis de perturbaciones armónicas.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Describir los parámetros de los armónicos, las normativas vigentes en el país para la iluminación y las metodologías para la mitigación.
- Realizar un diagnóstico de la red de iluminación de la facultad.
- Proponer soluciones para la mitigación de las perturbaciones.



1.3 Alcance

El enfoque de la presente investigación se basa en un análisis de los armónicos que son inyectados en el sistema eléctrico por las luminarias LED utilizadas en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte, mediante el diagnóstico de la red existente en condiciones de luminarias encendidas y apagadas.

Para el diagnóstico se empleará un analizador de red. Por medio del análisis de los datos obtenidos se determinarán los factores contaminantes que afectan a la red eléctrica, tales como variaciones de voltaje, flicker (parpadeo), variaciones de frecuencia, armónicos que se generan en el momento de funcionamiento de las luminarias tipo LED de bajo consumo.

Además, con base a al análisis de la información obtenida del diagnóstico con la aplicación de la normativa actual del Ecuador, se procederá a establecer el impacto de los factores contaminantes en la red de iluminación y proceder a la propuesta de las soluciones para la mitigación de los efectos producidos. La propuesta se realizará basándose en las tecnologías relacionadas con los armónicos descritas previamente.

1.3.1 Delimitación

El presente proyecto investigativo iniciará en el mes de noviembre de 2023; y su finalización será en el mes de febrero de 2024; estableciendo como espacio principal la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.



1.4 Justificación

El edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte cuenta con un sistema de iluminación de bajo consumo en donde es necesario asegurar un nivel satisfactorio de la prestación del servicio eléctrico para conservar una buena calidad de la energía eléctrica.

Con ello se pretende alargar la vida útil de los equipos de iluminación de la cual docentes, estudiantes y personal administrativo necesitan un excelente servicio de iluminación para realizar cada una de sus actividades, donde se eviten perturbaciones armónicas que afecten a equipos específicos dentro del edificio.

Por lo tanto, se propone conectar un analizador de redes el cual realizará la medición de la distorsión armónica en el circuito de iluminación de la facultad, el cual proporciona distintos parámetros a analizar del estado actual de la red eléctrica para su posterior diagnóstico.

Con los resultados obtenidos mediante el análisis de la influencia de las lámparas LED se podrá presentar una propuesta para la mitigación de las perturbaciones y el cumplimiento de los parámetros eléctricos establecidos según la Regulación No. ARCERNR 002/20.

Para realizar este estudio se contará con la autorización del uso del circuito de iluminación de la facultad por parte del Decano de la FICA; además se contará con el analizador de red prestado por la Empresa Eléctrica Regional Norte, por lo que el costo de adquisición de equipos de medida será nulo, lo que representa una viabilidad técnica.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se plasman la teoría base para el desarrollo de la investigación con sus determinados antecedentes; además de presentar los temas y subtemas referentes a la solución del problema determinado en el proyecto investigativo.

2.1 Antecedentes

En los últimos años la mayoría de las infraestructuras estas sean residenciales, comerciales o industriales han optado por la utilización de iluminación mediante lámparas LED, sustituyendo a las luminarias convencionales estas sean por lámparas de luz incandescentes o fluorescentes, el motivo es debido a factores como su eficiencia energética, versatilidad y larga durabilidad.

En la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas se verifica que el uso de distintos tipos de luminarias LED, han contribuido con la aparición de perturbaciones armónicas lo que dificulta la estabilidad de los circuitos eléctricos, denotando deterioro en aparatos eléctricos; además de sobrecalentamientos en los conductores de los circuitos.

Además, se debe destacar que el estudio de luminarias LED en territorio nacional de Ecuador, no es recabado a fondo, puesto que la producción de armónicos afecta a las redes eléctricas, desestabilizando las finalidades con las que fueron instaladas, por tal motivo es necesario analizar los tipos de luminarias LED utilizadas, en torno a priori mitigar las perturbaciones obtenidas.



En la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas no se evidencia un estudio y análisis de las diferentes luminarias LED colocadas, independientemente de su marca y potencia, lo que factibiliza la medición de armónicos por luminarias utilizadas en la facultad, con el fin de mitigar los armónicos obtenidos.

Sin embargo, se es consecuente que la utilización de tubos LED, es una tecnología limpia y que produce menor escala de armónicos; pero esto dependerá de la marca de luminaria que se utilice y el circuito que esté conectado, con el fin de obtener una buena calidad de suministro eléctrico.

Es fundamental utilizar la metodología idónea para obtener una calidad lumínica en el edificio de la facultad, lo que incide en la selección de las lámparas LED, además de la orientación y diseño de las luminarias con fin de promover entornos luminosos saludables, seguros y sostenibles.

Por lo tanto, la factibilización del presente proyecto es de mejorar la calidad de energía en una red eléctrica estable con luminarias eficientes y con un consumo energético sostenible, donde los usuarios sean beneficiados con espacios luminosos acorde a las actividades que realicen.

1.2 Bases teóricas

A continuación, se detallan como bases teóricas dentro del presente estudio

2.3 Tipos de cargas en un sistema eléctrico

Los tipos de carga que intervienen en un sistema eléctrico son: cargas lineales y cargas no lineales. Estas se detallan a continuación.

2.3.1 Carga lineal

Dentro de los sistemas eléctricos la forma de onda de la corriente y de la tensión son constantes en términos de magnitud y de frecuencia, estos constituyen un tipo de carga habitual y su principal característica es utilizar la potencia eléctrica directamente para realizar sus funciones [6].

Como se observa en la Figura 1, la onda de voltaje que atraviesa la carga tiene la misma forma de onda de la corriente por lo cual se considera que es una carga lineal.

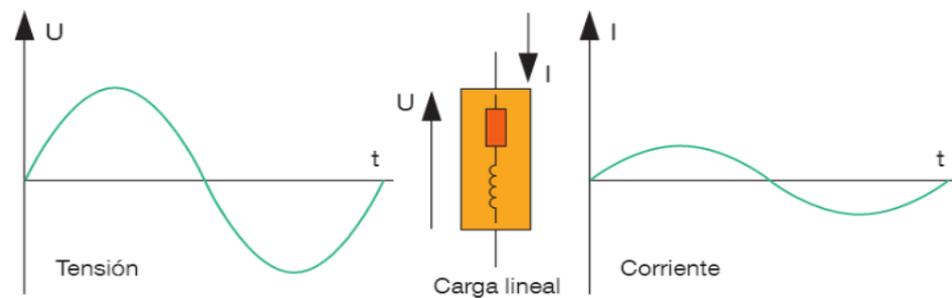


Figura 1 Onda sinusoidal de tensión y corriente de una carga lineal [7]

En la Figura 1 se mostró que, al atravesar la carga lineal, la onda de voltaje y de corriente mantienen un factor constante con respecto al tiempo y no tiene variación significativa.

Llanos David [8], afirma que las cargas lineales tienen un factor constante entre la corriente y el voltaje por el cual son relacionadas, la frecuencia del voltaje y la corriente al atravesar la carga no cambia significativamente. La onda de voltaje y de corriente al atravesar la carga no deforma su onda sinusoidal en un determinado tiempo.

2.3.2 Carga no lineal

Las cargas no lineales tienen la forma de onda de la tensión diferente a la forma de onda de la corriente, es usual que la energía eléctrica no sea utilizada directamente como es suministrada al equipo o dispositivo electrónico donde el ahorro energético o el uso eficiente de la energía eléctrica es lo primordial [6].

La onda de corriente que atraviesa una carga no lineal no corresponde con la forma de la tensión, como se indica en la Figura 2.

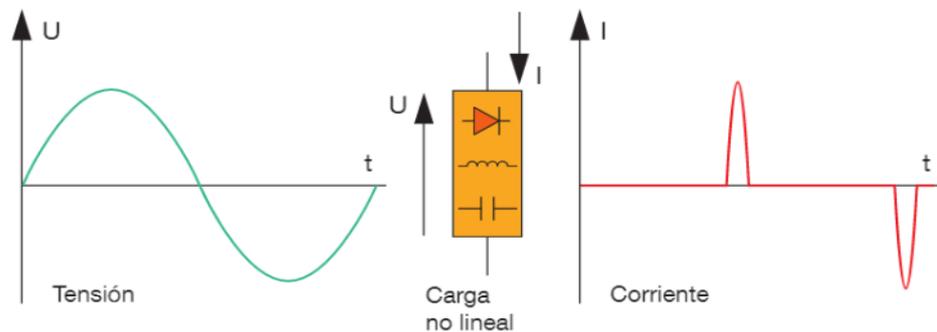


Figura 2: Onda sinusoidal de tensión y corriente de una carga no lineal. [7]

En la Figura 2 se observó, que al atravesar la carga su impedancia cambia mediante la aplicación del voltaje suministrado, por lo cual la impedancia cambia significativamente la corriente que consume la carga por ellos son consideradas cargas no lineales.

Las cargas no lineales pueden ser: luminarias fluorescentes con balastro electrónico y luminarias LED. Estas se detallan a continuación.

- **Fluorescentes**

Las luminarias fluorescentes son tubos de vapor de mercurio a baja presión los cuales funcionan con radiación ultravioleta, esta radiación se vuelve visible a través de las paredes del tubo que están recubiertas por polvos fluorescentes y finalmente estos reaccionan con los rayos ultravioletas [9].

En la siguiente Figura 3 se exponen los componentes esenciales para un efectivo funcionamiento de las lámparas fluorescentes.

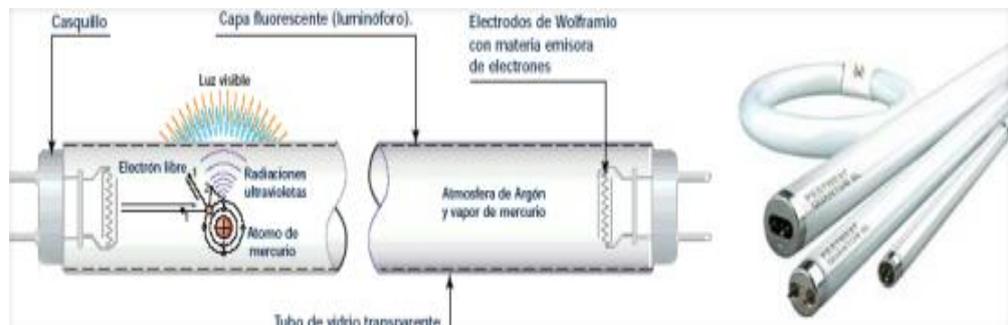


Figura 3: Lámpara fluorescente [9]

Como se observó en la Figura 3, se indicaron los componentes principales de las lámparas fluorescentes como son: el casquillo, la capa fluorescente, los electrodos de wolframio con materia emisora de electrones, tubo de vidrio transparente, electrón libre, atmósfera de argón y vapor de mercurio.

- **LED**

Las luminarias LED están conformadas por bancos de diodos emisores de luz, este tipo de luminaria está compuesta por una determinada cantidad de Leds, esto depende principalmente de la cantidad de diodos que se implemente para la fuente luminosa a la que se desea llegar, este tipo de lámpara se caracteriza por su estado sólido [9].

Actualmente las lámparas LED son usadas en muchos campos, ya que cuenta con una gama amplia y cubre todos los campos lumínicos, además cuenta con ciertas ventajas como son su ahorro energético que es su principal ventaja, además de una larga vida útil aproximadamente de 25 000 a 50 000 dependiendo de la marca, su arranque es instantáneo y están diseñadas para arranques y paros continuos, ya que funcionan bajo un esfuerzo considerable, una de sus principales desventajas es su elevado costo a comparación de los otros tipos de lámparas que se encuentra en el mercado [9].

En la siguiente Figura 4 se muestran los componentes esenciales para un correcto funcionamiento de las luminarias LED.



Figura 4 Diagrama de Tubo LED [10]

Se indicó en la Figura 4 los componentes de una lámpara LED, en los cuales intervienen un casquillo G-13 con rotación de 180 grados, carcasa de aluminio de alta calidad, cobertura opal anti-deslumbramiento y los chips LED dependiendo la potencia de cada marca.



2.4 Perturbaciones Eléctricas

Las perturbaciones eléctricas son distorsiones que interfieren principalmente a la forma onda de voltaje y de corriente de un determinado sistema eléctrico, las cuales como consecuencia afectan a la red eléctrica de manera negativa por el incremento masivo de dispositivos electrónicos no-lineales [11].

2.4.1 Flicker (*Parpadeo*)

El Flicker o variación rápida es producto de las perturbaciones introducidas durante la generación, transmisión o distribución de energía. Se producen por cambios bruscos en las cargas conectadas a la red eléctrica, donde las cargas tienen una demanda de potencia activa y reactiva rápidamente fluctuante [12].

2.4.2 Variación de tensión

Es provocada por la variación de la carga total en la red de distribución o de una sección específica de la red lo cual produce un aumento o disminución de la tensión en determinados en periodos de tiempos específicos cortos. [13].

2.4.3 Huecos de tensión

Los huecos de tensión son un tipo de interrupción que afecta al sistema eléctrico lo cual está relacionado con el valor de la tensión que por consecuencia cae entre el 1% y el 90% de la nominal en un determinado tiempo [14].

La forma de onda producida por la intervención de los huecos de tensión determinada en el tiempo y la tensión eficaz, como se indica en la Figura 5.

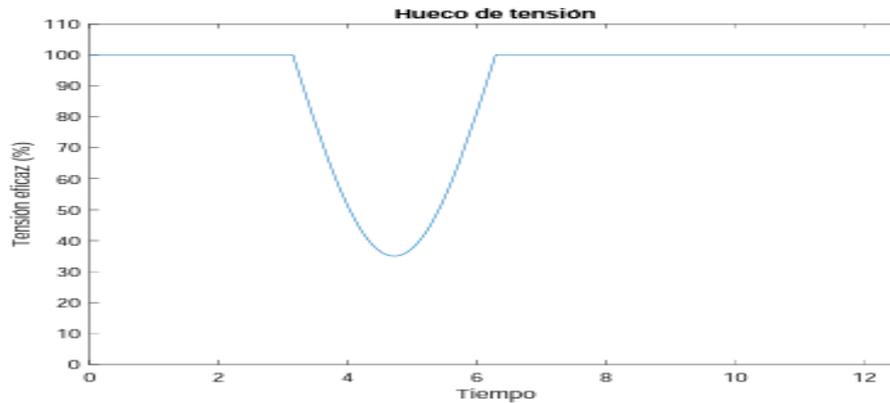


Figura 5: Huecos de tensión [14]

En la Figura 5 se indicó que al caer la tensión por debajo del 1% las cargas conectadas van a parar su funcionamiento, por lo que no pueden funcionar con valores pequeños. Este tipo de fenómeno es provocado por maniobras en la red, mantenimiento de esta o efectos meteorológicos como descargas eléctricas.

2.4.4 Sobretensiones temporales

Las sobretensiones producen un incremento de su valor eficaz, por lo cual se considera sobretensión al valor que sobrepasa el 110% del valor nominal. Existen sobretensiones temporales las cuales se dan por maniobras en la red o por el uso de cargas no lineales o también por algún defecto en las conexiones [14].

En la Figura 6 se expone la sobretensión temporal en función del tiempo y su tensión eficaz.

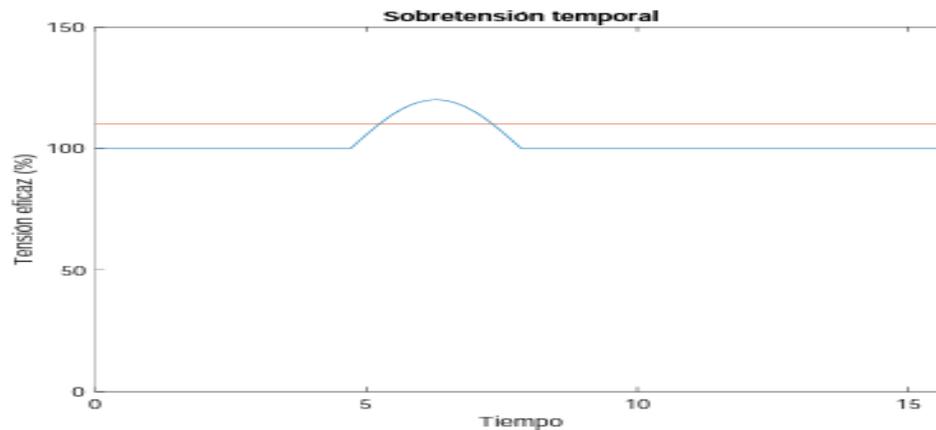


Figura 6: Sobretensión temporal [14]

De la Figura 6 se mostró la sobretensión temporal referente a la tensión eficaz con respecto al tiempo donde se observa que el porcentaje de la tensión eficaz sobrepasa el 100% en un determinado tiempo y por su pequeño intervalo de tiempo es considerado sobretensión temporal.

2.4.5 Interrupción de alimentación

La interrupción de alimentación es una clase de perturbación eléctrica, en donde se muestra significativamente la condición de la tensión suministrada a dichos terminales es inferior aproximadamente al 5% de la tensión de referencia que debería existir en dicho punto [15].

En la siguiente Figura 7 se indica las características o efectos que afectan al valor eficaz de tensión.

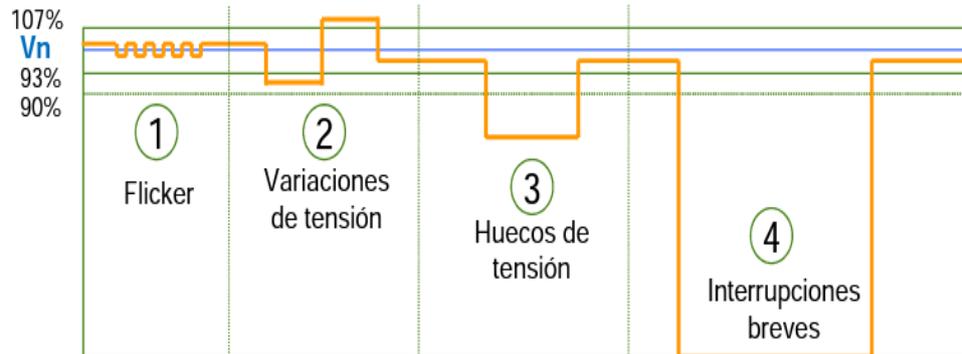


Figura 7: Características que afectan al valor eficaz de la tensión [15]

En la Figura 7 se detalló a través del voltaje nominal las diferentes perturbaciones eléctricas que afectan y su comportamiento como flicker, variaciones de tensión, huecos de tensión e interrupciones breves que afectan en el sistema eléctrico por el uso e instalación de cargas no lineales.

2.5 Armónicos

En los sistemas eléctricos, las perturbaciones armónicas son consideradas como distorsiones que influyen desfavorablemente en la simetría de la onda sinusoidal de corriente así también como en la onda de voltaje y se insertan como consecuencia de la conexión de cargas con impedancia no lineal [16].

La distorsión armónica es considerada un problema de calidad de energía que afecta principalmente la compatibilidad electromagnética del sistema de energía eléctrica, las cuales son dotadas por cargas no lineales que generan corrientes no sinusoidales por lo que distorsionan la forma de onda del voltaje, como consecuencia pueden ocasionar un mal funcionamiento y pérdidas en equipos y líneas del sistema eléctrico [17].



2.5.1 Fuentes de armónicos

Las corrientes armónicas son generadas principalmente por cargas residenciales o industriales con características no lineales, dependiendo los métodos de operación por lo cual producirán armónicos a nivel constante o variable. Como cargas industriales que producen niveles significativos de distorsión armónica están los hornos de inducción, variadores de velocidad, hornos de arco, convertidores de potencia, rectificadores, entre otros. En el sector residencial los equipos que producen corrientes armónicas y que se alimentan de la red de suministro son los aires acondicionados, ordenadores, lámparas de iluminación de balastro, televisores, entre otros [18].

2.5.2 Efectos de los armónicos

En las instalaciones de los consumidores uno de los principales efectos es la destrucción de condensadores por el efecto de resonancia debido a la amplificación de la corriente de funcionamiento normal. El sobrecalentamiento de los conductores neutros y transformadores son afectados por los armónicos de tercer orden, el incremento de las pérdidas por el efecto Joule, disparos inadecuados en los relés de protección, la comunicación telefónica es afectada por las corrientes armónicas provocadas por cargas no lineales de los clientes que influyen dentro de la red de suministro eléctrico [18].

2.5.3 Distorsión armónica total

La distorsión armónica total (THD o Total Harmonic Distortion) se caracteriza a través de la calidad de la señal, es la forma de onda de esta a comparación de un seno puro y puede ser aplicable para corriente como para tensión [18].



2.6 Normativas y Regulaciones

En el Ecuador la única norma por la cual se rige es el INEN (Servicio Ecuatoriano de Normalización), en donde se encuentran las regulaciones impuestas por los entes de control del sistema eléctrico nacional para su correcto cumplimiento.

El sistema eléctrico está compuesto por 4 subsistemas que son: generación, transmisión, distribución y comercial, son evaluados por la regulación No. ARCERNNR-002/20 (Agencia de Regulación y Control Eléctrico de Recursos Naturales No Renovables) para la calidad de servicio técnico que tiene como finalidad se cumpla de forma correcta la distribución del suministro eléctrico y que cumpla con un índice estándar donde se evite o se reduzca las interrupciones en el servicio [19].

2.6.1 Índices de calidad

Los índices de calidad se definen como un conjunto de atributos técnicos y comerciales fundamentales para la prestación de servicio de energía eléctrica y además establece estrictamente las condiciones bajo las cuales debe regirse dicha prestación de servicio para un cumplimiento correcto [19].

2.6.2 Calidad de producto

La calidad de producto se define como el atributo de la calidad del servicio relacionado con la forma en la que las señales de voltaje son entregadas por la distribuidora en donde consta el nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje y armónicos [19].



2.6.3 Niveles de voltaje

En la Tabla I se presenta el índice de los niveles de voltaje, clasificados de la siguiente manera:

Tabla I

Índices de niveles de voltaje [19]

| Nivel de Voltaje | Rango |
|------------------------|--------------------------------------|
| Bajo voltaje | Menor igual a 0,6 kV |
| Medio voltaje | Mayor a 0,6 kV y menor igual a 40 kV |
| Alto voltaje (Grupo 1) | Mayor a 40 kV y menor a 138 kV |
| Alto voltaje (Grupo 2) | Mayor a 138 kV |

En la Tabla I se detalló los de niveles de voltaje por lo cual se clasifica en bajo voltaje, medio voltaje, alto voltaje grupo 1 y alto voltaje grupo 2, cada una de las cuales especifica el rango de cada una de ellas.

2.6.4 Límites de voltaje

En la Tabla II se detalla el índice para los niveles de voltaje.



Tabla II

Límites para el índice de voltaje [19]

| Nivel de voltaje | Rango admisible |
|----------------------|-----------------|
| Alto voltaje (1 Y 2) | $\pm 5\%$ |
| Medio voltaje | $\pm 6\%$ |
| Bajo voltaje | $\pm 8\%$ |

En la Tabla II se describió el rango admisible para cada uno de los grupos de niveles de voltaje pertenecientes a bajo voltaje, medio voltaje y alto voltaje (grupo 1 y 2).

2.6.5 Límite de perturbación rápida de voltaje (FLICKER)

Para el índice de severidad del Flicker de corta duración su límite no debe superar la unidad, donde se procede a realizar la medición por 7 días continuos.

2.6.6 Límite de distorsión armónica de voltaje

En la Tabla III se detallan los porcentajes del THD y del factor de distorsión armónica individual.



Tabla III

Límites máximos de armónicos de voltaje [19]

| Nivel de voltaje | Factor de distorsión armónica individual (%) | THD (%) |
|------------------------|----------------------------------------------|---------|
| Bajo voltaje | 5.0 | 8.0 |
| Medio voltaje | 3.0 | 5.0 |
| Alto Voltaje (Grupo 1) | 1.5 | 2.5 |
| Alto Voltaje (Grupo 2) | 1.0 | 1.5 |

2.6.7 Desequilibrio de Voltaje

El desequilibrio de voltaje tiene un valor límite en un punto de medición será de 2% para todos los niveles de voltaje: bajo voltaje, medio voltaje, alto voltaje grupo 1, alto voltaje grupo 2.

2.7 Tipos de filtros para un sistema eléctrico

Los armónicos de tensión y/o voltaje causan problemas muy severos para el sistema en general, así como también para las cargas perturbadoras, generando pérdidas de energía no deseadas o el deterioro notorio del comportamiento de las cargas, para ello existen métodos enfocados a solucionar los problemas que conllevan los armónicos a reducir total o parcialmente [20]. A continuación, se describen los tipos de filtros y sus debidas características:

2.7.1 Filtros pasivos

El filtro pasivo es un filtro utilizado únicamente para mitigar una armónica en especial o un rango determinado de armónicos seleccionados. Estos filtros son utilizados en sistemas eléctricos que presentan fallos o interrupciones por armónicos y son utilizados por su bajo costo y fácil instalación [20].

De la Figura 8 se observa la configuración de estos filtros, lo que hace es representar una impedancia baja a una corriente de una frecuencia determinada.

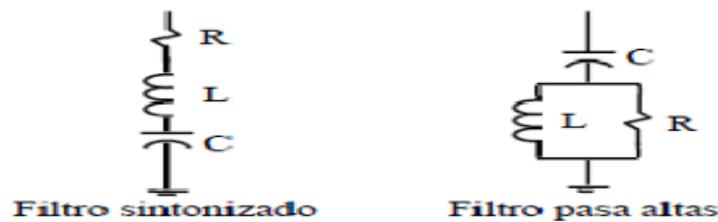


Figura 8: Filtros pasivos [20].

Los tipos de filtros pasivos existentes como son el filtro sintonizado y el filtro pasa altas, los cuales van a ser explicados a continuación, donde se detalla su aplicación, su funcionamiento y sus principios, como se indicó en la Figura 8.

Los filtros pasivos son considerados como combinación o agrupación de varios elementos como: condensadores, inductancias y condensadores los cuales de acuerdo con su configuración presentan una variación de su impedancia en función de la frecuencia. Los filtros pasivos sirven como sumidero para las corrientes y tensiones armónicas, además provee al sistema de energía reactiva parcial o totalmente según lo necesite [20].

Para el uso de los filtros pasivos se clasifican según su propósito al que se desee aplicar según su funcionamiento para la mitigación correspondiente:

- **Filtro pasivo serie**

Mediante la presencia de una alta impedancia serie sintonizada a una frecuencia específica los filtros pasivos tienen como misión evitar el paso de una o varias componentes de corriente en particular, desde la carga contaminante hacia otro sitio de la instalación propia o hacia el sistema de potencia. Generalmente los filtros pasivos están constituidos por varias células L-C (inductancia-capacitor), el cual tiene un uso como “tapón” para los armónicos que se desea anular [20]

En la siguiente Figura 9 se expone la forma de configuración de un filtro pasivo en serie para mitigar los armónicos 5 y 7.

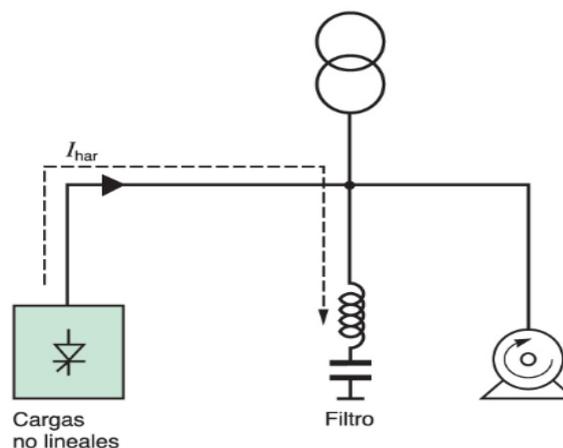


Figura 9 Filtro pasivo aplicado en un sistema eléctrico de potencia [21]

Se mostró en la Figura 9 el filtro pasivo tiene elementos reactivos como bobinas y capacitores que son conectados en paralelos con la carga para mitigar los armónicos inyectados en la red eléctrica por una carga no lineal y así eliminar armónicos determinados.



- **Filtro pasivo paralelo o Shount**

Toledo y Jiménez [20], afirman que los filtros pasivo-paralelos presentan mayores ventajas que el filtro en serie por su bajo costo, además ofrecen un paso alternativo de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas, ya que solo transporta corrientes armónicas para la cual tuvo su configuración o está sintonizado. Existen gran variedad de filtros paralelos pero los más utilizados son los filtros sintonizados simples y los filtros pasa alto.

- **Filtro sintonizado**

Los filtros sintonizados son filtros que se conectan en paralelo al sistema de distribución general o a determinadas cargas individuales significativas para reducir notablemente el contenido armónico generado por equipos o dispositivos no lineales, además proporciona de potencia reactiva para compensar el factor de potencia de desplazamiento para coordinar su operación con la demanda que proporciona la carga [20].

- **Filtro pasa alto**

Los filtros pasan altos o también llamados amortiguadores son utilizados cuando las armónicas no tienen frecuencia fija o cuando el número a anular de frecuencias es muy elevado, por lo cual la utilización de una batería con filtros sintonizados simples resulta en costos muy elevados. Este tipo de filtros tiene 3 funciones básicas que son:

- ✓ Reducir la tensión armónica de frecuencia igual o superior a la sintonía.

- ✓ Amortiguar las antirresonancias o caídas bruscas en la magnitud de la impedancia producidas cuando se presentan tensiones o corrientes cuya frecuencia corresponde con la sintonía del filtro.
- ✓ Amortiguar inmediatamente el régimen transitorio debido a la conexión del filtro.

En la Figura 10, se indica la configuración del filtro pasa alto y su respuesta de la frecuencia.

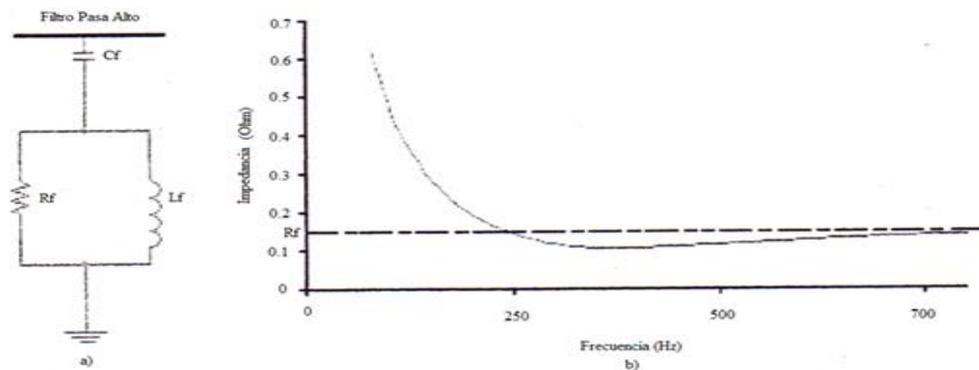


Figura 10: Aplicación de filtro pasa alto o amortiguador [20]

Como se observó en la Figura 10, el circuito de conexión de un filtro pasa alto donde cuenta con un capacitor y una resistencia en donde no necesita una fuente de alimentación. En la Figura b se muestra la estabilidad de la frecuencia en Hz a través de una impedancia.

2.7.2 Filtros activos

Los filtros activos tienen como principio de funcionamiento la generación de corrientes y/o voltajes que al sumarse con los voltajes y/o corrientes que proporciona la red anulan las señales armónicas. Para generar estas corrientes se realiza a través de



convertidores CC (corriente continua) - CA (corriente alterna) en donde se consideran inversores monofásicos o trifásicos [22].

Las cargas lineales pueden generar armónicos de corriente dependiendo su naturaleza por ellos pueden comportarse como una fuente de corriente con armónicos o como una fuente de tensión con armónicos, por ellos la corriente inyectada al sistema estará distorsionada y el objetivo de implementar estos filtros de compensación será eliminar la perturbación existente [23].

- **Filtro activo de conexión paralelo**

Para mejorar la corriente que es absorbida por una carga no lineal, el filtro activo paralelo procede a inyectar una corriente para que mitigue los armónicos no deseados, el filtro activo paralelo a la vez hace de fuente de corriente dependiente e inyecta en la red eléctrica una corriente de compensación, se concibe como un cortocircuito para las frecuencias armónicas y como un circuito abierto para la frecuencia fundamental de la red eléctrica [23].

El esquema de funcionamiento de un filtro activo de conexionado en paralelo se muestra en la Figura 11.

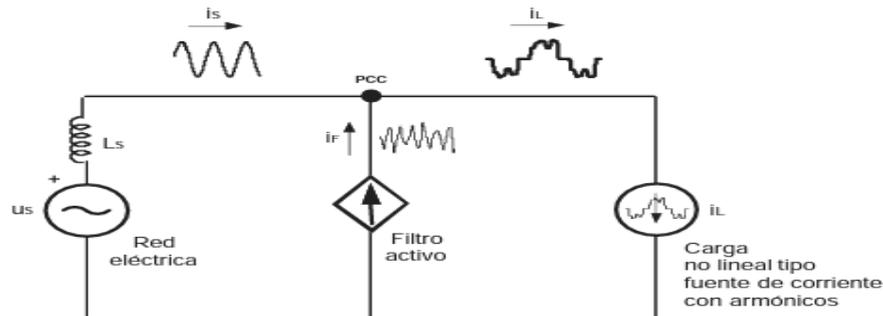


Figura 11: Circuito de filtro activo de conexión paralelo [23]

A través de la conexión de un filtro activo de conexión paralela se la puede realizar directamente y debe existir un aislamiento adecuado al nivel de tensión existente en el lugar, como se expuso en la Figura 11, donde en el punto de conexión (PCC) los armónicos de corriente que son inyectados por la carga se complementan con los armónicos que inyecta el filtro [23].

- **Filtro activo de conexión serie**

El filtro activo de conexión en serie compensa los armónicos presentes en la señal de tensión del sistema, por ello se considera como una fuente dependiente de tensión que aisle a la red eléctrica y a la carga cuando las frecuencias sean distintas a la frecuencia fundamental [23].

En la Figura 12, se observa la conexión de un filtro activo de conexión serie, donde se compensan los armónicos de tensión que son generados por la carga, por lo tanto, en el punto de conexión PCCa presenta una forma de onda sinusoidal.

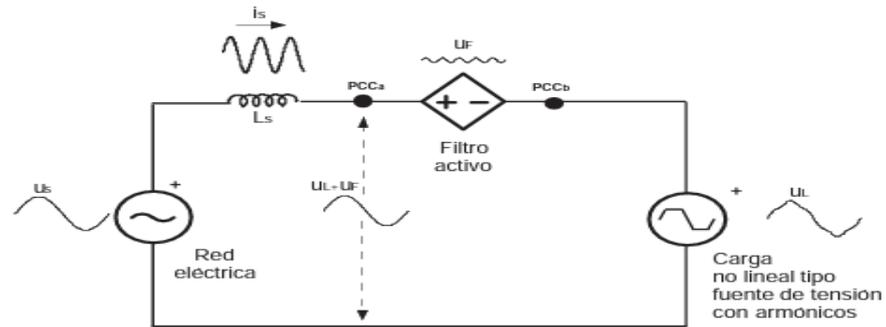


Figura 12: Filtro activo de conexión serie [23]

De la anterior Figura 12, el filtro activo de conexión serie está dimensionado para soportar la corriente de la demanda de la carga eléctrica del circuito, además el filtro debe estar protegido para no ser destruido en el caso de existir un cortocircuito que afecte al sistema [23].

En este capítulo se recopiló la información necesaria acerca de los tipos de carga que existen en la red eléctrica, los diferentes contaminantes eléctricos que son perturbaciones originadas por cargas no lineales, las normativas vigentes en Ecuador y los filtros activos y pasivos para su respectiva mitigación de los armónicos producidos por cargas no lineales centrados en las luminarias.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente capítulo se realizó un detalle minucioso de la descripción del lugar de estudio, los distintos métodos aplicados para la recopilación de información y obtención de datos, además de los materiales y software que intervendrá dentro del presente estudio, a su vez como fórmulas que son aplicadas dentro de la regulación ARCERNNR 002/20.

3.1 Descripción del lugar de estudio

La Universidad Técnica del Norte cuenta con once campus universitarios y dentro del Campus Principal “El Olivo” se encuentra la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas que está ubicada en el lado sur, cerca de la biblioteca universitaria. Como se indica a continuación en la Figura 13.



Figura 13: Campus - "El Olivo" Universidad Técnica del Norte [24]

En la Figura 14 se puede observar las afuera del edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, la cual está constituida por cinco plantas, en las cuales cuentan con áreas administrativas, laboratorios, aulas de clase, auditorio, baños, entre otros.



Figura 14: Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

La energía para iluminación y fuerza de todas las áreas mencionadas anteriormente proviene desde el tablero principal de distribución ubicado en la planta baja, junto al ascensor. Este centro de carga se encuentra ubicado en esta posición estratégica debido a que se necesita un espacio amplio para realizar tareas de manipulación, control y mantenimiento como se observa en la Figura 15.



Figura 15 Tablero General FICA



3.2 Descripción de la Metodología

Para la factibilización y veracidad del proyecto investigativo son fundamentales aspectos como el enfoque investigativo y el tipo de investigación, con el fin de realzar datos y resultados idóneos en la resolución del problema planteado.

El presente proyecto investigativo tiene un enfoque cuantitativo probabilístico, denotando un estudio explicativo que permite conocer los métodos idóneos en mitigación de perturbaciones armónicas causados por luminarias LED, a fin de determinar soluciones viables y sostenibles.

3.3 Diseño de la investigación

Los tipos de investigación que se utiliza para el desarrollo del presente proyecto investigativo son la investigación documental, la cual es empleada para recolección de datos de fuentes confiables sobre un tema específico, además que este tipo de investigación faculta el análisis y síntesis de información ya predispuesta con el fin de crear conocimiento, con el respaldo de argumentos con bases fundamentadas para la toma de decisiones.

Otro tipo de Investigación a utilizar en el desarrollo de este proyecto científico es la descriptiva la cual es utilizada con el fin de caracterizar comportamientos de fenómenos brindando una comprensión fehaciente en torno a la solución de un problema. Las perturbaciones armónicas producidas por lampara LED al utilizar este tipo de investigación permite obtener factores relevantes que contribuyen a la factibilidad del presente proyecto.

Finalmente se utiliza el método de extrapolación el cual caracteriza en factores en 3 tipos de luminarias, con el fin de extrapolar a un determinado valor que tenga la facultad de Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte.

3.4 Procedimiento General

Para la realización del presente trabajo de grado se a determinado por un conjunto de procedimientos y técnicas, los cuales fueron apropiados para la obtención de datos de calidad de energía producidas por las luminarias LED dentro de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas. El procedimiento se realizó en diferentes fases, con un orden determinado para la obtención de datos que se ajusten con los objetivos planteados dentro del proyecto de titulación.

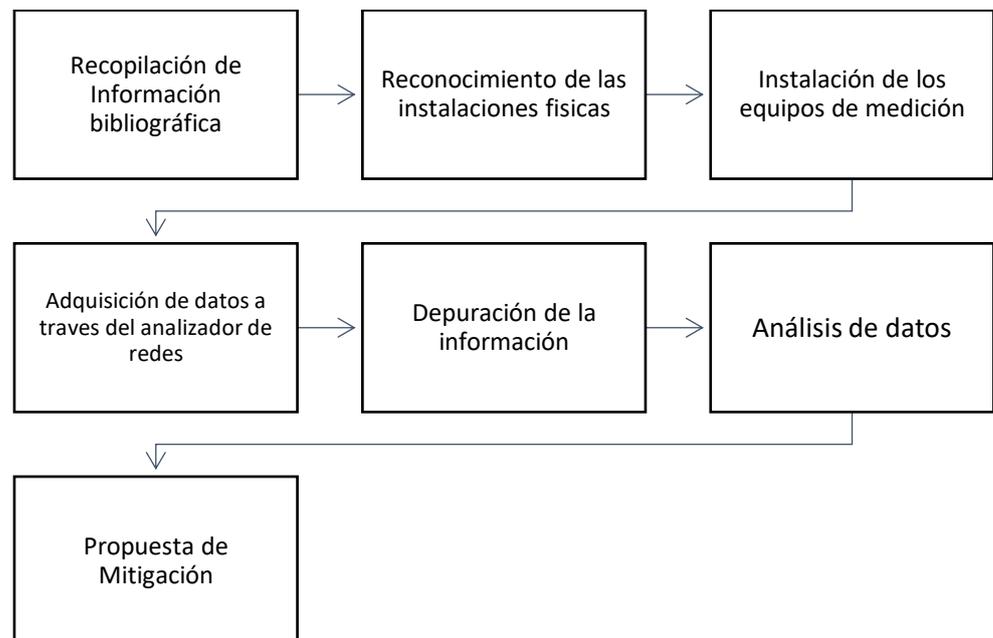


Figura 16 Metodología aplicada al estudio de luminarias LED



A continuación, de la Figura 16 se detalló la metodología empleada para la obtención de la propuesta de mitigación, esta empezó mediante la revisión técnica de los equipos de iluminación dentro del área de estudio, seguido por una delimitación del área de conexión del circuito de iluminación.

3.4.1 Recopilación de información bibliográfica

El presente proyecto comenzó con la recopilación exhaustiva de información proveniente de diversas fuentes bibliográficas como artículos científicos, libros, proyectos de investigación, sitios web especializados, regulaciones vigentes en el país. Esta etapa tiene como objetivo la adquisición de conocimientos sobre perturbaciones armónicas producidas por luminarias LED y distintos métodos para su mitigación en la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

3.4.2 Reconocimiento de las instalaciones físicas

Al realizar el levantamiento de información lumínica se optó por determinar de manera total la cantidad de luminarias detallando por piso, marca y potencia de cada una de ellas para su posterior análisis.

3.4.3 Instalación de equipos de medición

Una vez identificado la topología de conexión se procedió a instalar el analizador de redes Metrel PowerQ4 Plus en el centro de carga para obtener datos de la contaminación existente dentro de la facultad



3.4.4 Adquisición de datos a través del analizador de redes

Para la obtención de datos recopilados en el analizador de redes Metrel Q4Plus es necesario la plataforma Metrel Power View la cual permitirá la descarga y análisis de datos para consecuente crear informes en base a la información adquirida.

3.4.5 Depuración de la información

Para la selección específica de datos se toma en cuenta los valores obtenidos de THD de corriente y voltaje, armónicos individuales de voltaje (3,5,7,9,11), para su consecuente análisis.

3.4.6 Análisis de datos

Una vez recopilado sus datos de las diferentes combinaciones de conexión, se realizará una tabulación en la cual se denote la contaminación producida por cada marca de luminaria para observar su comportamiento y como consecuente realizar su extrapolación de la cantidad real de luminarias existentes en la Facultad de ingeniería en Ciencias Aplicadas a través del modelamiento ARIMA.

3.4.7 Propuesta de mitigación

Con base al anterior análisis de los datos recopilados, se procede a la elección del tipo de luminaria más conveniente para su instalación total o mayoritaria por su menor contaminación armónica generada y así evitar mayor inyección armónica por parte lumínica en el lugar de estudio.



3.5 Materiales

A continuación, se detallan los equipos y herramientas computacionales que se utilizan para realizar la medición del contaminante eléctrico y el manejo de datos.

3.5.1 *Equipo Analizador de Red Metrel PowerQ4 Plus*

Para llevar a cabo la obtención de las mediciones correspondientes en el panel de distribución principal se procederá a conectar el analizador de redes Metrel PowerQ4 Plus, el cual forma parte de los recursos de la Carrera de Electricidad de la Universidad Técnica del Norte. A continuación, se detallan las características generales y la capacidad de medición del dispositivo designado para el presente trabajo.

- **Características Generales**

El analizador de redes Metrel PowerQ4 Plus es un instrumento multifuncional portátil con aplicación al análisis de calidad de energía y medición de la eficiencia energética de un determinado punto o sector del que se desea conocer o evaluar durante un determinado intervalo de tiempo [25].

En la Figura 17 se muestra el analizador de redes Metrel PowerQ4 que se emplea para llevar a cabo las mediciones de eficiencia energética y realizar el análisis de calidad de energía.



Figura 17: Analizador de redes MetrelQ4 PLUS

De la Figura 17, se describen las principales funciones ejecutadas por el dispositivo de medición de eficiencia energética y analizador de calidad de energía.

En la Tabla IV se evidencia las características principales del analizador de redes Metrel PowerQ4.

Tabla IV
 Características principales de Metrel PowerQ4 [26]

| Descripción | Capacidad |
|-----------------------------------------|---------------------------|
| Tensión de entrada máxima (Fase-neutro) | 1000 V _{RMS} |
| Tensión de entrada máxima (Fase-fase) | 1730 V _{RMS} |
| Alimentación Autónoma | 15 horas (Mediante pilas) |
| Impedancia de entrada (Fase-neutro) | 6M Ω |
| Impedancia de entrada (Fase-fase) | 6M Ω |



| | |
|----------------|---------------------|
| Convertidor AD | 16 bits (8 canales) |
| Registrador | 8 MB (524 firmas) |

Estas características mostradas en la Tabla IV facultan la identificación del modo de uso del analizador de red, el cual debe manipularse según las especificaciones del fabricante.

- **Escalas de tensión**

El analizador de redes Metrel PoweQ4 dispone de tres escalas diferentes de medición, las cuales deben elegirse dependiendo de la tensión nominal de la red en la que se va a conectar.

En la Tabla V se evidencia las escalas de tensión dentro del instrumento de medición de redes.

Tabla V
Escalas de tensión dentro del instrumento Metrel PowerQ4 [26]

| Voltaje de fase nominal | Rango Recomendado |
|-------------------------|--------------------|
| Escala de Voltaje 1 | 50V ÷ 110V (L-N) |
| Escala de Voltaje 2 | 110V ÷ 240V(L-N) |
| Escala de Voltaje 3 | 240 V ÷ 1000V(L-N) |

En la Tabla V Se evidenció las escalas de tensión que el instrumento de medición posee, el cual faculta los parámetros de tensión a utilizar para cada fase.

3.5.2 Software Metrel PowerView v2.0

El software Metrel PowerView v2.0 es un programa de acompañamiento el cual está destinado a la exportación, visualización y análisis de datos medidos a través del instrumento Metrel PowerQ4. El programa cuenta con una interfaz dinámica que permite la interacción del usuario de modo sencillo y rápido para optimizar la selección eficaz de los datos para consiguiente realizar el análisis [26], como se muestra en la Figura 18.

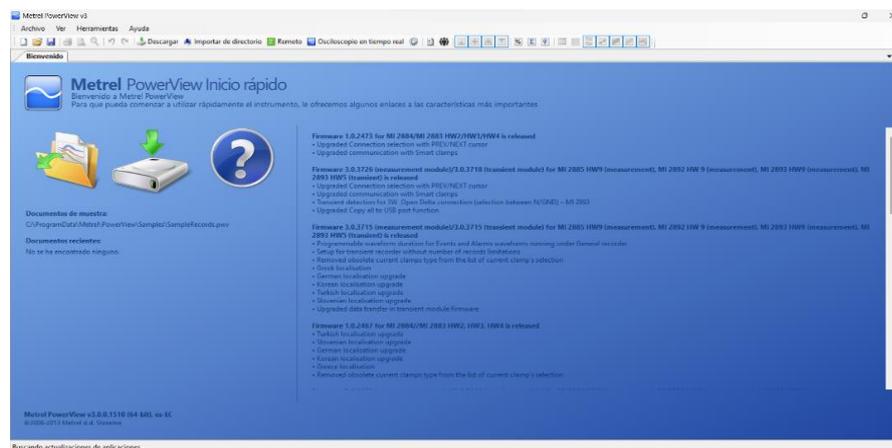


Figura 18. Software Metrel PowerQ4 - Pantalla Principal

Como se observó en la Figura 18, en su pantalla principal cuenta con iconos de Abrir documentos, un cuadro de dialogo de descarga en donde se puede obtener mediante la conexión software-equipo la obtención de los datos antes medidos.

- **Aplicaciones de software**

El usuario del programa tiene la opción de descargar de manera sencilla los datos previamente ingresados en el instrumento Metrel PowerQ4 y ordenarlos en diferentes subgrupos específicos. Además, permite generar gráficas, tablas y cuadros para un posterior análisis de los datos de calidad de energía y como consecuente genere informes detallados [26].



3.5.3 Tipos de Luminarias LED

Con la finalidad de conocer las diferentes especificaciones y características técnicas de cada uno de los tipos de luminarias LED presentes en el campo de estudio, se detalla de manera minuciosa cada una de ellas para su posterior análisis.

- **Tubo LED LEDEX T8 vidrio OPAL 18W 6500K**

La luminaria tipo LED de la marca “LEDEX” tiene las siguientes características técnicas:

- Potencia: 18W
- Voltaje de operación: 110-240 V
- Vida útil: 25 000 horas

En la Tabla VI se puede observar las especificaciones técnicas de las luminarias LED de la marca Ledex con su respectivo código.

Tabla VI
Especificaciones técnicas luminaria LED marca "LEDEX" [27]

| | |
|--------------------------|----------|
| Código | I10001 |
| Base | G13 |
| Tipo | T8 |
| Temperatura de Color (k) | 6500K |
| Tensión (v) | 100-240v |
| Frecuencia (Hz) | 50/60 Hz |
| Lúmenes (lm) | 1800 lm |



Angulo de apertura

320 grados

Estas especificaciones que se muestran en la Tabla VI son los rangos característicos de la marca de luminaria LEDEX, con el fin de medir la distorsión armónica en la red eléctrica según las especificaciones dadas por el fabricante.

- **Tubo LED Silvanya 18W T8 DL 100-240 VID**

La luminaria tipo LED de la marca “Silvanya” tiene las siguientes características técnicas:

- Potencia: 18 W
- Voltaje de operación: 100-240 V
- Vida útil: 25 000 horas

En la Tabla VII se puede observar las especificaciones técnicas de las luminarias LED de la marca Silvanya con su respectivo código.

Tabla VII
Especificaciones técnicas luminaria LED marca "Silvanya" [28]

| | |
|--------------------------|----------|
| Código | P24250 |
| Base | G13 |
| Tipo | T8 |
| Temperatura de Color (k) | 6500K |
| Tensión (V) | 100-240V |



| | |
|--------------------|------------|
| Frecuencia (Hz) | 50/60 Hz |
| Lúmenes (lm) | 1600 lm |
| Angulo de apertura | 270 grados |

Las especificaciones que se muestran en la Tabla VII son los rangos característicos de la marca de luminaria Silvanya, con el fin de medir la distorsión armónica en la red eléctrica según las especificaciones dadas por el fabricante.

- **Tubo LED AmericanLite 18w T8 100-265V**

La luminaria tipo LED de la marca “AmericanLite” tiene las siguientes características técnicas:

- Potencia: 18 W
- Voltaje de operación: 120-277 V
- Vida útil: 50 000 horas.

En la Tabla VIII se puede observar las especificaciones técnicas luminarias LED de la marca AmericanLite con su respectivo código.

Tabla VIII
Especificaciones técnicas luminaria LED marca "AmericanLite" [29].

| | |
|----------------------|-----------|
| Código | AL571377F |
| Base | G13 |
| Tipo | T8 |
| Temperatura de Color | 4000K |

(k)



| | |
|--------------------|------------|
| Tensión (v) | 120-277V |
| Frecuencia (Hz) | 50/60 Hz |
| Lúmenes (lm) | 1800 lm |
| Angulo de apertura | 180 grados |

Las especificaciones que se muestran en la Tabla VIII son los rangos característicos de la marca de luminaria AmericanLite, con el fin de medir la distorsión armónica en la red eléctrica según las especificaciones dadas por el fabricante.

3.5.4 *Magnitudes de funcionamiento del sistema.*

Dentro de los sistemas eléctricos existe un determinado grado de tolerancia el cual depende de la carga que existe en el mismo, por la misma instancia causa un funcionamiento incorrecto de muchos equipos especialmente las cargas no lineales las cuales introducen distorsión armónica.

A continuación, se detallan las ecuaciones que intervienen para la obtención de límites de voltaje y Desequilibrio de Voltaje de la regulación ARCERNNR 002/20.

3.5.5 *Distorsión armónica de voltaje*

Conforme a ARCERNNR - 002/20 demuestra la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje, acorde a las siguientes ecuaciones:

En la (1 se muestra la fórmula para realizar el cálculo del armónico individual de voltaje.



$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \quad (1)$$

En la (2) para el cálculo del factor de distorsión individual de voltaje interviene el valor eficaz de voltaje y el voltaje de los armónicos.

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_{h,1}} \times 100[\%] \quad (2)$$

En la (3) se detalla la fórmula del cálculo porcentual del factor de distorsión armónica total de voltaje.

$$TDH_k = \left[\frac{1}{V_{h,1}} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] \times 100[\%] \quad (3)$$

Donde:

- $V_{h,k}$ = Armónica de voltaje h en el intervalo k de minutos.
- $V_{h,i}$ = Valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje h (para h=2, 3, ...,50), medido cada 3 segundos (i=1,2,...,200).
- $DV_{h,k}$ = Factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h (para h=2,3,50) en el intervalo k de 10 minutos.
- TDH_k = Factor de distorsión armónica total de voltaje.



- $V_{h,1}$ = Valor eficaz (rms) de la componente fundamental de voltaje en el punto de medición.

3.6 Métodos, técnicas e instrumentos

A continuación, se procede a detallar los métodos y técnicas utilizadas dentro del estudio de grado:

3.6.1 Método de análisis de restricción de contaminación en luminarias LED

Está enfocado en la evaluación de los efectos adversos que este tipo de luminarias afecten a la red eléctrica con el fin de mitigarlos a priori descartando las perturbaciones producidas y obteniendo sistema eléctrico eficaz y sustentable para los usuarios en sus diversas aplicaciones que opten por usar.

La finalidad es verificar se cumplan con los estándares y regulaciones establecidos para las luminarias LED, lo que debe reflejar estrategias de diseño lumínico y sistemático, con la finalidad de no introducir o reducir distorsiones no deseadas en ondas de corriente, lo que puede verse afectado en la calidad energética.

El análisis necesita un enfoque conciso lo que repercute en el diseño de las luminarias acorde a las necesidades estructurales y de conexión, conociendo su especificación técnica dada por el fabricante, con el fin de establecer tipos y marcas idóneas de luminarias que no produzcan perturbaciones en la red eléctrica.

3.6.2 Método de Topografía de filtros

El método de topografía de filtros es utilizado en el análisis y diseño de filtros; puesto que estos dispositivos permiten la mitigación de armónicos producidos por cargas



no lineales; estos eliminan o permiten la reducción de dichas perturbaciones producidas por una corriente excesiva tanto de entrada como de salida de equipos.

Los filtros desvían las perturbaciones armónicas de la corriente a carriles con una impedancia menor; estos filtros pueden clasificarse en pasivos o activos dependiendo de su forma de actuar y aplicación que requiera sea comercial o industrial; además que de existir otras de derivaciones de filtros utilizados para mitigar armónicos dependiendo de la complejidad del sistema eléctrico.

En consecuencia, se requiere analizar el tipo de armónico que se genera y en qué nivel se encuentra para establecer la selección idónea del filtro, con el fin de economizar, factibilizar y viabilizar la red eléctrica de la infraestructura donde se diseñó.

3.6.3 Método de Extrapolación

Para determinar la contaminación armónica producido por los tipos de luminarias LED que son utilizadas en el edificio de la Facultad de Ciencias Aplicadas, se procede a implementar el método de extrapolación modelo ARIMA a través de herramientas computacionales, el cual faculta en la suposición de datos y variables que en función de otros valores poseen similares características.

- **Modelo ARIMA**

El modelamiento ARIMA significa Modelos Autorregresivos Integrados a Medias Móviles, este modelo nos permite realizar un análisis de series temporales que son utilizadas para modelar y predecir valores futuros a través de datos previamente



obtenidos, dentro de este método se utiliza 3 principales elementos los cuales son: autorregresion, medias móviles y diferencias [30].

Se puede describir de la siguiente manera:

$$Y_t = c + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \varphi_3 Y_{t-3} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \theta_3 \epsilon_{t-3} + \epsilon_t \quad (4)$$

Donde:

- Y_t = Valor de la serie en el tiempo t
- C = constante
- φ = Términos autorregresivos
- θ = Términos de media móvil
- ϵ_t = error en el tiempo t

Con esta (4) permite verificar las luminarias LED de mejor factibilidad en su utilización para un sistema de iluminación; puesto que permite verificar la desviación total de una señal distorsionada con respecto a señales sinusoidales ideales.



CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se detalló el análisis del efecto producido por los armónicos de los diferentes tipos de luminarias mediante el método de extrapolación; además se detalla en cada apartado el proceso de mitigación de perturbaciones armónicas encontradas por la inferencia de cada marca de luminaria empleada en el edificio.

4.1 Levantamiento de información lumínica

En base al procedimiento a realizar se detallan los datos recolectados para la ejecución del presente proyecto, donde se visualiza la disposición geográfica de áreas por piso dentro de la edificación de la facultad de Ciencias Aplicadas. A continuación, se detalla el dimensionamiento de las luminarias por cada piso de la facultad.

4.1.1 Primer Piso

Tal y como se verifica en la Tabla IX se evidencia la totalidad de 110 luminarias que posee el primer piso del edificio de la facultad.



Tabla IX

Tipo de luminarias – Primer piso

| FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
|---------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Primer Piso | | |
| Tipo de Luminaria | Potencia | Cantidad |
| Silvanya | 18W | 52 |
| LEDEX | 18W | 38 |
| American Lite | 18W | 15 |
| Otro | Fluorescente | 5 |

Las 110 luminarias LED que conforman indistintamente el primer piso de la facultad, tal y como se visualiza en la Tabla IX, se denota la superioridad numérica de la marca Silvanya con 52 luminarias, seguidamente por la marca Ledex con 38 luminarias y por último la marca American Lite con 15 luminarias; además que existen luminarias fluorescentes de otra marca con un insignificante número de luminarias empleadas.

En la Figura 19, se muestra el porcentaje de cada una de las marcas de luminarias presentes en el primer piso.

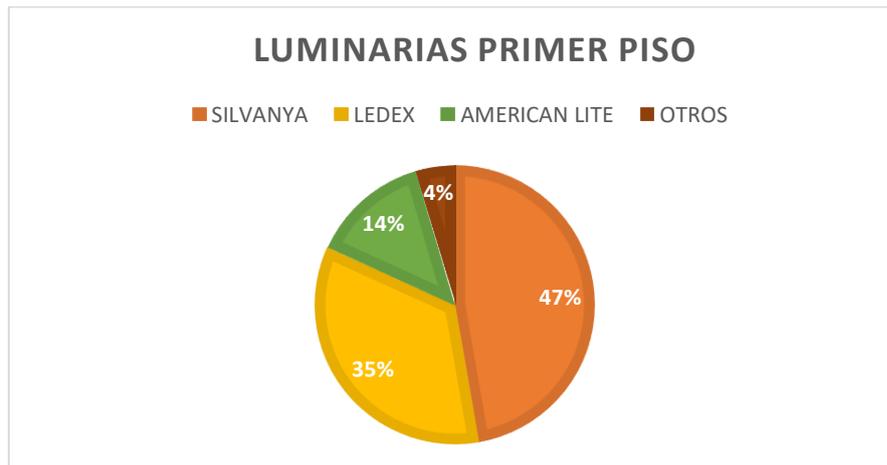


Figura 19: Porcentaje luminarias Primer Piso

Porcentualmente se muestra la predominancia de la marca Silvanya con 47%, seguido de la marca Ledex con 35%, además de la marca American Lite con 14% y fluorescentes con 4% como se observó en la Figura 19.

4.1.2 Segundo Piso

En la Tabla X se visualiza las 128 luminarias predisuestas en el segundo piso del edificio de la facultad, caracterizando por marca.



Tabla X

Tipo de luminarias – Segundo piso

| FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
|----------------------------------------------|--------------|----------|
| Segundo Piso | | |
| Tipo de Luminaria | Potencia | Cantidad |
| Silvanya | 18W | 10 |
| LEDEX | 18W | 64 |
| American Lite | 18W | 54 |
| Otro | Fluorescente | 0 |

De las 128 luminarias LED que conforman indistintamente el segundo piso de la facultad, tal y como se visualizó en la Tabla X, se denota la superioridad numérica de la marca Ledex, seguidamente por la marca American Lite y por último la marca Silvanya; además que no existen lámparas fluorescentes de otra marca.

En la Figura 20 se muestra el porcentaje de cada marca de luminarias presentes en el segundo piso.

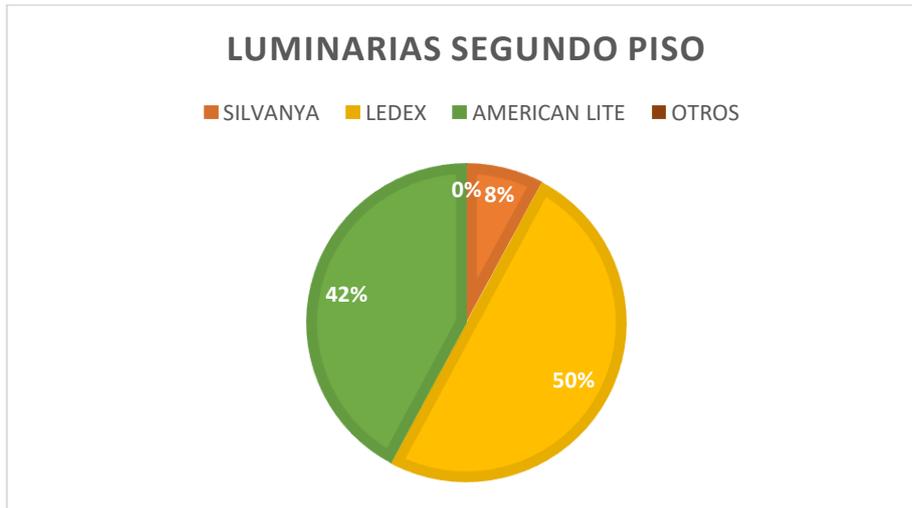


Figura 20: Porcentaje luminarias Segundo piso

En el gráfico circular se muestra la predominancia de la marca Ledex con 50%, seguido de la marca American Lite con 42%, la marca Silvanya con 8%, en donde no se encontró luminarias fluorescentes o de otro tipo como se observó en la Figura 20.

4.1.3 Tercer Piso

De igual manera se evidencia en la Tabla XI las 115 lámparas que conforman este piso.

Tabla XI
 Tipo de luminarias – Tercer piso

| FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Tercer Piso | | |
| Tipo de Luminaria | Potencia | Cantidad |
| Silvanya | 18W | 7 |
| LEDEX | 18W | 81 |

| | | |
|----------------------|--------------|----|
| American Lite | 18W | 25 |
| Otro | Fluorescente | 2 |

De las 115 luminarias LED que conforman indistintamente el tercer piso de la facultad, tal y como se visualiza en la Tabla XI, se denota la superioridad numérica de la marca Ledex, seguidamente por la marca American Lite y por último la marca Silvana significativamente con una luminaria; además que existen lámparas fluorescentes de otra marca, con un insignificante numero de 2 luminarias.

En la Figura 21 se muestra el porcentaje de las distintas marcas de luminarias presentes en el tercer piso.

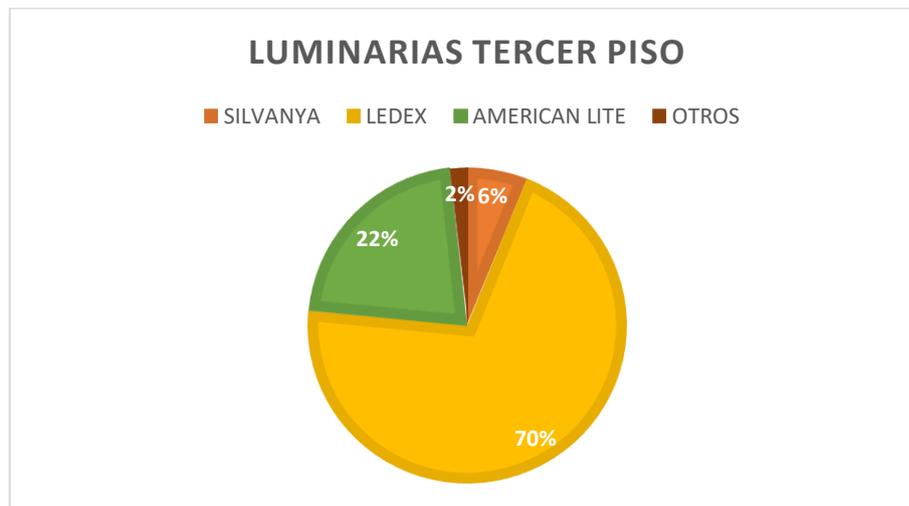


Figura 21: Porcentaje luminarias tercer piso

En el gráfico circular se detalla el porcentaje de luminarias presentes en el tercer piso denotando como mayor predominancia a la marca Ledex con 70%, seguido de la marca American Lite con 22%, por último, a la marca Silvana con 6% y como otros tipos de luminarias existe un 2% como se mostró en la Figura 21.



4.1.4 Cuarto Piso

En el cuarto piso de la facultad se verifica las 120 lámparas conformantes del sistema de iluminación caracterizando su tipo y marca tal y como se muestra en la Tabla XII.

Tabla XII

Tipo de luminarias – Cuarto piso

| FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
|----------------------------------------------|--------------|----------|
| Cuarto Piso | | |
| Tipo de Luminaria | Potencia | Cantidad |
| Silvanya | 18W | 18 |
| LEDEX | 18W | 21 |
| American Lite | 18W | 79 |
| Otro | Fluorescente | 2 |

De las 120 luminarias LED que conforman indistintamente el cuarto piso de la facultad, tal y como se visualizó en la Tabla XII , se denota la superioridad numérica de la marca American Lite, seguidamente por la marca Ledex y por último la marca Silvanya; además que existen lámparas fluorescentes con un insignificante numero de 2 luminarias.

Como se puede visualizar en la Figura 22 se detallan los porcentajes de cada una de las marcas de luminarias LED presentes en el cuarto piso.

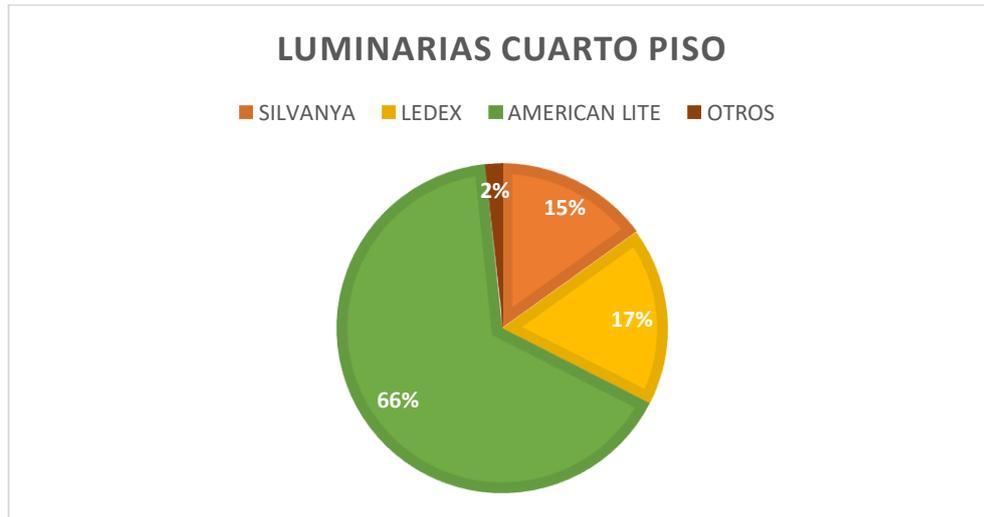


Figura 22: Porcentajes luminarias cuarto piso

En el gráfico de sectores se evidenció la predominancia de la marca American Lite con 66%, seguido de la marca Ledex con 17% y la marca Silvana con 15%, además de un 2% de luminarias fluorescentes como indicó la Figura 22.

4.1.5 Quinto Piso

En la Tabla XIII se visualiza las 179 lámparas que conforman el quinto piso de la facultad caracterizando su potencia, tipo y marca

Tabla XIII

Tipo de luminarias – Primer piso

| FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
|-----------------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Quinto Piso | | |
| Tipo de Luminaria | Potencia | Cantidad |
| Silvana | 18W | 11 |
| LEDEX | 18W | 72 |

| | | |
|----------------------|--------------|----|
| American Lite | 18W | 66 |
| Otro | Fluorescente | 30 |

De las 179 luminarias LED que conforman indistintamente el quinto piso de la facultad, tal y como se visualiza en la Tabla XIII, se denota la superioridad numérica de la marca Ledex, seguidamente por la marca American Lite y por último la marca Silvanía; además que existen lámparas fluorescentes de otra marca, con un significativo número de 30 luminarias.

Como se puede evidenciar en la Figura 23, se expone los porcentajes de cada una de las marcas presentes dentro del quinto piso.

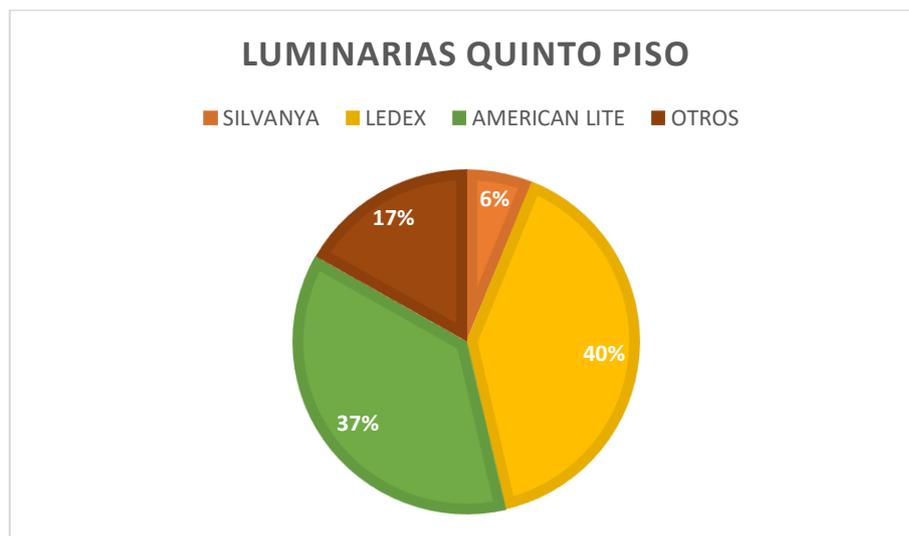


Figura 23: Porcentaje de luminarias quinto piso

En el gráfico circular se muestra la predominancia de la marca Ledex con 40%, seguido de la marca American Lite con 37%, seguido de las luminarias fluorescentes con 17%, y como último tenemos a la marca Silvana con 6% dentro del quinto piso como se observó en la Figura 23.

4.2 Tablero Experimental

Una vez identificado la topología de conexión se procedió a instalar el analizador de redes MetrelPowerQ4 en el centro de carga para obtener datos de la contaminación existente dentro de la facultad, debido a los problemas detectados en la distribución de carga en donde no se diferencia circuitos de iluminación como de fuerza, se optó por realizar mediciones generales del centro de carga como se observa en la Figura 24.



Figura 24: Conexión Analizador de redes MetrelQ4Power a Centro de Carga

Por lo tanto, se optó por realizar un tablero experimental en donde cuente con un número igualitario de luminarias de cada una de las marcas que intervienen en el estudio para su posterior análisis del comportamiento de sus perturbaciones armónicas que estas inyectan a la red. El cual será conectado al tablero general del laboratorio de automatización de la carrera de Electricidad.

En la Figura 25, se muestra el tablero experimental de iluminación dividido por cada marca.



Figura 25 Tablero Experimental de iluminación



En la anterior Figura 25, se observó el tablero experimental en donde se segmentaron según su marca, asegurando una cantidad equitativa de luminarias para su análisis consiguiente.

4.3 Análisis de armónicos presentes en las luminarias LED.

Para realizar el análisis de los armónicos presentes en las luminarias LED se han realizado diferentes combinaciones para observar el comportamiento en el que afectan cada una de las luminarias.

4.3.1 Análisis de armónicos generados por los tipos de luminarias LED

A continuación, se plasma el análisis por cada tipo de luminaria LED; con la finalidad de verificar su nivel de contaminación armónica.

- **LEDEX**

Mediante la conexión de esta marca de luminaria LED en el tablero del laboratorio de automatización, permite visualizar la producción de armónicos; demostrando en la Tabla XIV su porcentaje de producción de perturbaciones en el orden generado.



Tabla XIV

Porcentaje de armónicos presentes en luminarias Ledex

**PORCENTAJE DE ARMÓNICOS PRESENTES EN LA
CONEXIÓN DE LUMINARIAS MARCA LEDEX**

| ORDEN DE ARMÓNICO | Luminaria marca LEDEX |
|------------------------------|------------------------------|
| THD (I) | 0,66 |
| THD (v) | 2,07 |
| 3^{er} | 0,68 |
| 5^{to} | 1,65 |
| 7^{mo} | 0,43 |
| 9^{no} | 0,32 |
| 11^{vo} | 0,58 |

De la anterior tabla 14 se detalló los parámetros armónicos con sus respectivas mediciones en este caso se observa que su THD de voltaje es 2,07 y su THD de corriente es 0,66.

- **AMERICAN LITE**

A través de la conexión de este tipo de luminaria LED al tablero del laboratorio de automatización, se presenta los porcentajes de armónicos presentes denotando su orden armónico como muestra la Tabla XV.

Tabla XV

Porcentaje de armónicos presentes en luminarias American Lite



**PORCENTAJE DE ARMÓNICOS PRESENTES EN LA
CONEXIÓN DE LUMINARIAS MARCA AMERICANLITE**

| ORDEN DE ARMÓNICO | Luminaria marca AmericanLite |
|------------------------------|-------------------------------------|
| THD (I) | 3,58 |
| THD (v) | 2,35 |
| 3^{er} | 1,07 |
| 5^{to} | 1,83 |
| 7^{mo} | 0,50 |
| 9^{no} | 0,37 |
| 11^{vo} | 0,62 |

Como se indicó en la Tabla XV el formato es el mismo, pero en este caso se habla sobre la marca American Lite teniendo en cuenta las diferentes mediciones obtenidas.

- **Silvanya**

Mediante la conexión de esta marca de luminaria LED en el tablero del laboratorio de automatización, permite contemplar la producción de armónicos; demostrando en la Tabla XVI su porcentaje de producción de perturbaciones en el orden generado.



Tabla XVI

Porcentaje de armónicos presentes en luminarias Silvanya.

| PORCENTAJE DE ARMÓNICOS PRESENTES EN LA CONEXIÓN DE LUMINARIAS MARCA SILVANYA | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | Luminaria marca Silvanya |
| THD (I) | 3,21 |
| THD (v) | 2,37 |
| 3^{er} | 0,95 |
| 5^{to} | 1,83 |
| 7^{mo} | 0,53 |
| 9^{no} | 0,47 |
| 11^{vo} | 0,58 |

Al realizar la conexión de las luminarias marca Silvanya al tablero del laboratorio de automatización se detalló los valores obtenidos de cada una de las perturbaciones que intervienen en el estudio como se demostró en la Tabla XVI.

4.3.2 *Análisis de armónicos generados por todos los tipos de luminarias LED*

A continuación, se plasma el análisis de los 3 tipos de luminarias LED que intervienen dentro del presente estudio; con la finalidad de verificar la influencia de armónicos presentes dentro de la misma.



En la Tabla XVII se muestra los porcentajes de armónicos encontrados en todas las luminarias que implican el estudio, denotando su orden armónico.

Tabla XVII

Porcentaje de armónicos presentes en los tres tipos de luminarias.

| PORCENTAJE DE ARMÓNICOS PRESENTES EN LA CONEXIÓN DE LOS TRES TIPOS DE LUMINARIAS. | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | Conjunto de luminarias |
| THD (I) | 2,26 |
| THD (v) | 2,50 |
| 3^{er} | 1,53 |
| 5^{to} | 1,73 |
| 7^{mo} | 0,52 |
| 9^{no} | 0,48 |
| 11^{vo} | 0,60 |

Al conexionar el conjunto de las 3 marcas de luminarias LED, se denota sus armónicos totales e individuales en donde se observa un crecimiento en cada uno de sus valores como se demostró en la Tabla XVII.



4.3.3 *Análisis de los armónicos generados por las combinaciones de luminarias conectadas en cada fase.*

Para el análisis de los armónicos generados entre las combinaciones de luminarias, con el fin de determinar perturbaciones en orden de armónicos de voltaje y corriente.

- **Silvanya y Ledex**

Entre las combinaciones de luminarias de marca Silvanya y Ledex se realiza las mediciones con el analizador de redes de la carrera de electricidad. La determinación del porcentaje de armónicos de THD de voltaje y corriente, así como los armónicos individuales de voltaje de nivel 3,5,7,9 y 11 como se denota en la Tabla XVIII.

Tabla XVIII

Porcentaje de armónicos presentes en combinación de luminarias Silvanya y Ledex

| PORCENTAJE DE ARMÓNICOS PRESENTES EN LA COMBINACIÓN DE LA MARCA SILVANYA Y LEDEX. | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | Combinación Silvanya y Ledex |
| THD (I) | 1,74 |
| THD (v) | 2,18 |
| 3^{er} | 1,33 |
| 5^{to} | 1,37 |
| 7^{mo} | 0,50 |
| 9^{no} | 0,50 |
| 11^{vo} | 0,43 |



Como se indicó en la anterior Tabla XVIII, la combinación de las luminarias de marca Silvana y Ledex dan como resultado un THD de corriente de 1,74 y un THD de voltaje de 2,18, denotando que el THD de voltaje es más alto.

- **Silvana y AmericanLite**

De la misma manera que la combinación anterior; las combinaciones de luminarias de la marca Silvana y American Lite se realizan las mediciones con el analizador de red de la carrera de electricidad, donde faculta los parámetros de toma de mediciones de voltaje y corriente.

A continuación, se evidencia el porcentaje de armónicos presentes en voltaje y corriente, con la combinación de luminarias de la marca Silvana y luminarias de la marca American Lite, tal y como se muestra en Tabla XIX.

Tabla XIX

Porcentaje de armónicos presentes en combinación de luminarias Silvana y AmericanLite

| PORCENTAJE DE ARMÓNICOS PRESENTES EN LA COMBINACIÓN DE LA MARCA SILVANA Y AMERICAN LITE. | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | Combinación Silvana y AmericanLite |
| THD (I) | 3,25 |
| THD (v) | 2,60 |
| 3^{er} | 1,70 |



| | |
|------------------|------|
| 5 ^{to} | 1,60 |
| 7 ^{mo} | 0,55 |
| 9 ^{no} | 0,55 |
| 11 ^{vo} | 0,55 |

Mediante la combinación de la marca Silvana y American Lite se puede evidenciar los porcentajes de contaminación armónica producidas por esta agrupación como se detalló en la Tabla XIX.

- **Ledex y American Lite**

Las combinaciones entre luminarias Ledex y AmericanLite permite visualizar las perturbaciones armónicas de voltaje y corriente; los que faculta principios de mitigación posteriores.

Para las mediciones de armónicos se realizará la toma de mediciones con el analizador de redes, donde refleja los siguientes valores tal y como se visualiza en la siguiente Tabla XX.



Tabla XX

Porcentaje de armónicos presentes en combinación de luminarias Ledex y American Lite

| ORDEN DE ARMÓNICO | Combinación Ledex y AmericanLite |
|-------------------|----------------------------------|
| THD (I) | 1,96 |
| THD (v) | 2,18 |
| 3 ^{er} | 1,22 |
| 5 ^{to} | 1,53 |
| 7 ^{mo} | 0,50 |
| 9 ^{no} | 0,43 |
| 11 ^{vo} | 0,50 |

Al realizar la combinación de las marcas Ledex y American Lite se observa los porcentajes obtenidos de la agrupación de estos dos tipos de iluminación LED, los cuales se mostró en la Tabla XX.

4.3.4 Análisis de los armónicos generados por los tipos de luminarias conectadas a un sistema trifásico

Para el análisis de los armónicos generados entre los tipos de luminarias se procedió a la conexión a partir de un sistema trifásico para observar el comportamiento

de cada tipo de luminaria, con el fin de determinar perturbaciones armónicas de voltaje y corriente como se denota en Tabla XXI .

Tabla XXI

Porcentaje de armónicos presentes en la conexión de luminarias a un sistema trifásico

| PORCENTAJE DE ARMÓNICOS PRESENTES EN CONEXIÓN A UN SISTEMA TRIFÁSICO. | | | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | FASE A SILVANYA | FASE B LEDEX | FASE C AMERICAN LITE |
| THD (I) | 3,16 | 0,66 | 3,51 |
| THD (v) | 2,90 | 2,07 | 2,53 |
| 3^{er} | 1,43 | 1,10 | 1,60 |
| 5^{to} | 2,30 | 1,50 | 1,63 |
| 7^{mo} | 0,27 | 0,50 | 0,23 |
| 9^{no} | 0,53 | 0,47 | 0,63 |
| 11^{vo} | 0,80 | 0,40 | 0,87 |

En la conexión de los 3 tipos de luminarias a un sistema trifásico se puede evidenciar que la contaminación de la Marca Ledex es menor tanto en THD de voltaje como de corriente y sus valores de armónicos individuales son de la misma manera mas bajos como se demostró en la Tabla XXI.



4.4 Extrapolación de luminarias LED.

La extrapolación de las luminarias LED es fundamental para el análisis de distorsión armónica generada por las mismas, dentro del centro de carga la facultad; para lo cual, una vez obtenida el número total de luminarias por cada tipo, proceder a utilizar el método de extrapolación modelo ARIMA como se observa en la Tabla XXII.

Tabla XXII

Número total de luminarias presentes en el lugar de estudio

| NÚMERO TOTAL DE LOS DIFERENTES TIPOS DE LUMINARIAS | |
|-----------------------------------------------------------|------------|
| DENTRO DE LA FACULTAD | |
| SILVANYA | 98 |
| LEDEX | 276 |
| AMERICAN LITE | 239 |
| TOTAL | 613 |

Se evidencia en la Tabla XXII la totalidad de luminarias LED por marca, en fin de encontrar la luminaria apta y acorde para instalaciones de iluminación que no genere o inyecte un valor mínimo de armónicos de voltaje y de corriente; en vista de estos resultados se visualiza a continuación la extrapolación con el dimensionamiento en el tablero general de las luminarias por marca visualizando su factor de diferencia y concluyendo con el porcentaje comparativo entre valores de cada armónico generado; teniendo en cuenta que el número total de luminarias indistintamente de su marca en la facultad es de 613 luminarias LED.



4.4.1 Extrapolación marca LEDEX

En la Tabla XXIII se puede observar un análisis comparativo entre los valores de la contaminación producida por el tablero compuesto de 6 luminarias marca LEDEX en comparación de las 276 luminarias de la misma marca dimensionando las existentes dentro de la facultad.

Tabla XXIII

Dimensionamiento de luminarias para el lugar de estudio marca LEDEX

| EXTRAPOLACIÓN DE LUMINARIAS MARCA LEDEX PARA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | PORCENTAJE CONTAMINACIÓN TABLERO | PORCENTAJE EXTRAPOLACIÓN |
| THD (I) | 0,66 | 1,26 |
| THD (v) | 2,07 | 3,82 |
| 3 ^{er} | 0,68 | 1,33 |
| 5 ^{to} | 1,65 | 2,64 |
| 7 ^{mo} | 0,43 | 1,14 |
| 9 ^{no} | 0,32 | 1.04 |
| 11 ^{vo} | 0,58 | 1.21 |

De la anterior Tabla XXIII se mostró el análisis comparativo de cada perturbación armónica presente, en donde se muestra la diferencia estimada de los valores obtenidos

de la medición del tablero compuesto por 6 luminarias de la marca LEDEX, en la cual a través del método de extrapolación modelo ARIMA se dimensiono para el número de 276 luminarias de la misma marca existentes dentro de la facultad.

En la Figura 26 se observa mediante el diagrama de barras la diferencia entre la contaminación producida por el tablero, comparado con los valores del dimensionamiento de luminarias de marca LEDEX.

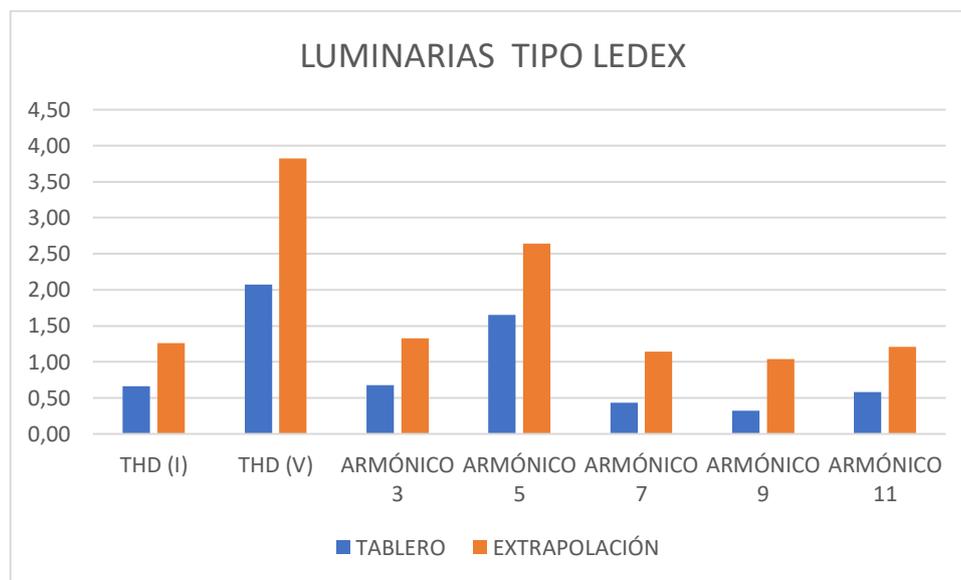


Figura 26: Diagrama de barras luminarias LEDEX.

Como se mostró en la Figura 26 el incremento de la contaminación producida por dicha marca en donde de color azul se observa la contaminación producida por el tablero compuesto por 6 luminarias y de color naranja se observa el dimensionamiento a 276 luminarias pertenecientes al número existente de dicha marca dentro de la facultad.



4.4.2 Extrapolación marca American lite

Los porcentajes presentes en la extrapolación de la marca American Lite como se observa en la Tabla XXIV, en donde se detalla la contaminación obtenida por el tablero de 6 luminarias y su porcentaje de dimensionamiento para el número total existente de la misma marca en este caso 239 luminarias.

Tabla XXIV

Dimensionamiento de luminarias para el lugar de estudio marca LEDEX

| EXTRAPOLACIÓN DE LUMINARIAS MARCA AMERICAN LITE | | |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| PARA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
| ORDEN DE ARMÓNICO | PORCENTAJE CONTAMINACIÓN TABLERO | PORCENTAJE EXTRAPOLACIÓN |
| THD (I) | 3,58 | 5,13 |
| THD (v) | 2,35 | 3,89 |
| 3^{er} | 1,07 | 2.59 |
| 5^{to} | 1,83 | 2.77 |
| 7^{mo} | 0,50 | 0,98 |
| 9^{no} | 0,37 | 0.93 |
| 11^{vo} | 0,62 | 1,07 |

De la anterior Tabla XXIV, se observó la comparación del porcentaje de contaminación armónica emitido por el tablero y el porcentaje de contaminación armónica debido al número total de luminarias marca American Lite dentro del lugar de estudio. Además, en la Figura 27 se evidencia los valores de armónicos producidos por el tablero en relación con el porcentaje producido por el dimensionamiento de luminarias totales.

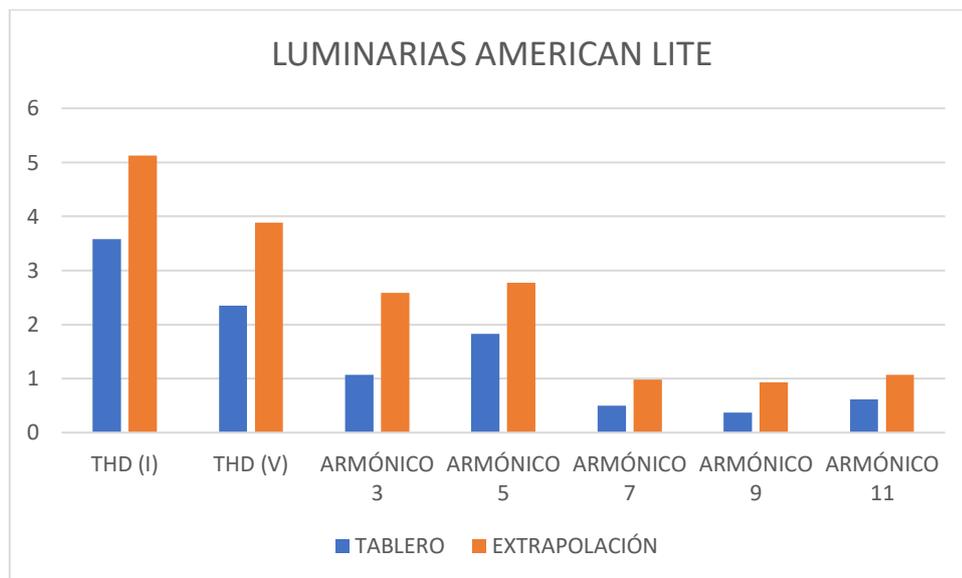


Figura 27: Diagrama de barras luminarias American Lite.

En el diagrama de barras correspondiente a las perturbaciones armónicas generadas por la marca American Lite se observa la comparación entre el porcentaje del tablero en este caso es representado por el color azul, como el del dimensionamiento del número total de luminarias presentes dentro de la facultad que esta simbolizado por el color naranja, en donde se puede evidenciar un crecimiento porcentual en consecuencia al aumento de la cantidad de luminarias como se mostró en la Figura 26.



4.4.3 Extrapolación marca Silvanya

La Tabla XXV muestra los porcentajes de contaminación armónica correspondientes al tablero conformado por 6 luminarias y el porcentaje de este aplicado al dimensionamiento para el número total de luminarias de la marca Silvanya en este caso un total de 98 luminarias.

Tabla XXV

Dimensionamiento de luminarias para el lugar de estudio marca LEDEX

| EXTRAPOLACIÓN DE LUMINARIAS MARCA SILVANYA PARA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | PORCENTAJE CONTAMINACIÓN TABLERO | PORCENTAJE EXTRAPOLACIÓN |
| THD (I) | 3,21 | 3,82 |
| THD (v) | 2,37 | 2,90 |
| 3^{er} | 0,95 | 1,54 |
| 5^{to} | 1,83 | 2,18 |
| 7^{mo} | 0,53 | 0,96 |
| 9^{no} | 0,47 | 0,72 |
| 11^{vo} | 0,58 | 1,04 |

Como se indicó en la Tabla XXV, los porcentajes del dimensionamiento de la marca Silvanya son menores a comparación de las tablas anteriores, porque su número total es muy pequeño a comparación de las otras marcas que intervienen en el estudio.

En la Figura 28, se muestra mediante un diagrama de barras los porcentajes obtenidos del tablero compuesto de 6 luminarias y los porcentajes del dimensionamiento realizado para el número total del lugar de estudio.

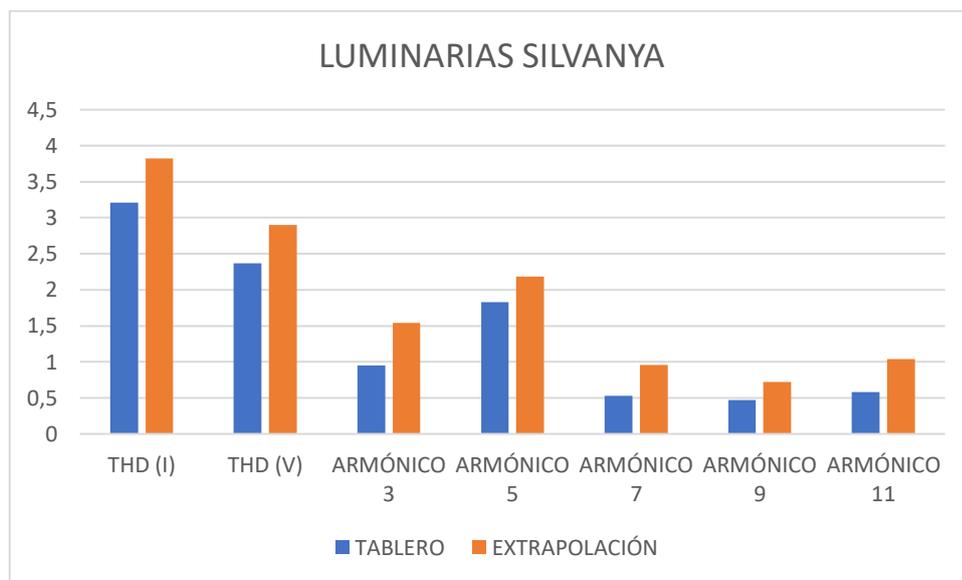


Figura 28: Diagrama de Barras luminarias Silvanya

Como se observó en la Figura 28, al extrapolar al número total de luminarias de la marca Silvanya en la facultad se observó un crecimiento pequeño debido a la cantidad de luminarias de esta marca, ya que su valor es de 98, de la cual de los tres tipos que involucran el estudio es el que menor cantidad está presente.



4.5 Propuesta de mitigación de armónicos.

La propuesta planteada en el estudio y resolución de la problemática se basa en la implantación del método de análisis de restricciones de contaminantes producidas por las marcas de luminarias estudiadas anteriormente, con el fin de optar por la marca de luminaria que inyecte menos armónicos a la red de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, para lo cual se optó por realizar un análisis en la toma de muestras y evaluar según su promedio y su varianza como se muestra en la Tabla XXVI.

Tabla XXVI

Comparativa de contaminación armónica de las 3 marcas de luminarias

| ANÁLISIS DE LA TOMA DE REGISTROS DE TODAS LAS MARCAS DE LUMINARIAS | | | |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|-----------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | LEDEX | AMERICAN LITE | SILVANYA |
| THD (I) | 0,66 | 3,58 | 3,21 |
| THD (v) | 2,07 | 2,35 | 2,37 |
| 3^{er} | 0,68 | 1,07 | 0,95 |
| 5^{to} | 1,65 | 1,83 | 1,83 |
| 7^{mo} | 0,43 | 0,50 | 0,53 |
| 9^{no} | 0,32 | 0,37 | 0,47 |
| 11^{vo} | 0,58 | 0,62 | 0,58 |
| Promedio | 0,91 | 1,47 | 1,42 |



| | | | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| Varianza | 0,45 | 1,40 | 1,15 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|

De la anterior Tabla XXVI, se observó que el promedio de contaminación emitida por la marca LEDEX es menor con un valor promedio de 0,91 y una varianza de 0,45 respectivamente, por lo cual se considera como la marca de luminaria que inyecta menos contaminación armónica a la red eléctrica de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

- Frecuencia porcentual individual**

En la Tabla XXVII, se muestra el promedio y la varianza en frecuencia porcentual de cada una de las marcas de luminarias.

Tabla XXVII

Comparativa de contaminación armónica de las 3 marcas de luminarias

FRECUENCIA PORCENTUAL DE LAS MARCAS DE LUMINARIAS

| MARCA | F% | | F% | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | PROMEDIO | PROMEDIO | VARIANZA | VARIANZA |
| LEDEX | 0,91 | 23,89% | 0,45 | 15,06% |
| AMERICAN | 1,47 | 38,77% | 1,40 | 46,62% |
| LITE | | | | |
| SILVANYA | 1,42 | 37,34% | 1,15 | 38,32% |
| TOTAL | 3,80 | 100% | 3,00 | 100% |



Como se indicó en la Tabla XXVII, la marca LEDEX tiene una frecuencia porcentual de 23,89% y una frecuencia porcentual de varianza de 15,06% llegando a la conclusión que la misma luminaria inyecta armónicos de forma mínima entre las tres clases de luminarias dentro del presente estudio.

Con la finalidad de optar por la combinación de luminarias más conveniente como se evidencia en la Tabla XXVIII, se procede a obtener su promedio y varianza respectivamente.

Tabla XXVIII

Comparativa de contaminación armónica de las combinaciones de las marcas de luminarias

| ANÁLISIS DE LA TOMA DE REGISTROS DE LAS COMBINACIONES DE LAS MARCAS DE LUMINARIAS | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| ORDEN DE ARMÓNICO | SILVANYA Y LEDEX | SILVANYA Y AMERICAN LITE | LEDEX Y AMERICAN LITE |
| THD (I) | 1,74 | 3,25 | 1,96 |
| THD (v) | 2,18 | 2,60 | 2,18 |
| 3^{er} | 1,33 | 1,70 | 1,22 |
| 5^{to} | 1,37 | 1,60 | 1,53 |
| 7^{mo} | 0,50 | 0,55 | 0,50 |
| 9^{no} | 0,50 | 0,55 | 0,43 |
| 11^{vo} | 0,43 | 0,55 | 0,50 |
| Promedio | 1,15 | 1,54 | 1,19 |



| | | | |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| Varianza | 0,48 | 1,17 | 0,54 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|

De la anterior Tabla XXVIII, se presentó el promedio y varianza de cada una de las combinaciones de las marcas de luminarias, con la finalidad de elegir una de ellas para disminuir la contaminación armónica, en este caso se observa que el conjunto de la marca Silvana y LEDEX tiene un menor promedio y una varianza de 1,15 y 0,48 respectivamente.

- Frecuencia porcentual de las combinaciones**

En la Tabla XXIX, se muestra el promedio y la varianza en frecuencia porcentual de cada una de las combinaciones de las marcas lumínicas.

Tabla XXIX

Comparativa de contaminación armónica de las combinaciones de las marcas de luminarias

FRECUENCIA PORCENTUAL DE LAS MARCAS DE LUMINARIAS

| MARCA | F% | | F% | |
|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | PROMEDIO | PROMEDIO | VARIANZA | VARIANZA |
| SILVANYA Y LEDEX | 1,15 | 29,63% | 0,48 | 21,80% |
| SILVANYA Y AMERICAN LITE | 1,54 | 39,75% | 1,17 | 53,51% |
| LEDEX Y AMERICAN LITE | 1,19 | 30,62% | 0,54 | 24,59% |



| | | | | |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TOTAL | 3,88 | 100% | 2,18 | 100% |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|

Se demostró en la Tabla XXIX, la combinación de los tres tipos de luminarias dando a denotar que la conjunción de las marcas Silvana y Ledex sobresaltan ante las otras combinaciones realizadas por su menor valor de la frecuencia porcentual dando como resultado un 29,63% de frecuencia porcentual de promedio y un 21,80% de la frecuencia porcentual de varianza, seguido por la combinación Ledex y American Lite con un 30,62% de frecuencia porcentual promedio y un 24,54% de frecuencia porcentual de varianza.

Como concluyente la marca de luminaria Ledex según su estudio y análisis previo se constató que es el tipo que inyecta menor contaminación armónica a la red de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por lo cual además de ser el caso de escoger dos tipos de luminarias a instalar dentro de nuestro lugar de estudio lo más conveniente sería instalar aparte de la marca antes nombrada, el tipo de luminaria Silvana por su menor contaminación a comparación de la marca American Lite, además se podría realizar circuitos express para disminuir la contaminación, utilizar tubos de alta eficiencia que contengan restricciones de no contaminación, se podría colocar un factor k en el transformador para al momento de manejar las cargas no lineales no se sobrecaliente.



Conclusiones

Las luminarias LED al ser consideradas cargas no lineales, generan armónicos que contaminan la red eléctrica. La regulación ARCERNNR-002/20 en Ecuador se encarga de regular, controlar y fiscalizar diversos aspectos del sector energético incluyendo perturbaciones armónicas por esta razón se selecciona métodos de mitigación de armónicas para reducir o eliminar su impacto en la calidad de energía.

Al realizar el diagnóstico de la red de iluminación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas a través de su extrapolación se encontró las variaciones mínimas de la marca LEDEX con 1,26 THD (I) y 1,33 en el tercer armónico de voltaje a comparación de los valores máximos de la marca American Lite de 5,13 en THD(I) Y 2,59 en su tercer armónico de voltaje.

El estudio concluyó que la marca LEDEX genera un 23,89% del total de distorsión armónica entre las tres marcas de luminarias analizadas, posicionándose como la que menos contaminación armónica produce. Por lo tanto, se propone su instalación predominante o total para una mejoría en la red eléctrica.



Recomendaciones

Se recomienda la realización de un análisis de distorsión armónica en las luminarias LED instaladas en los edificios de las diferentes facultades de la Universidad Técnica del Norte. Estos estudios permitirán realizar una comparativa y determinar cuál marca introduce la menor distorsión armónica en el sistema eléctrico.



Referencias bibliográficas.

- [1] F. Yam y Z. Hassan, *Innovative advances in LED technology*, 2005.
- [2] A. Burton, H. Le Minh, N. Aslam, L. Le y T. Nguyen, *LED based lighting and communications: An emerging technology for a greener more sustainable future*, vol. 4, 2017.
- [3] U4E United for Efficiency, «Maneras Simples de Lograr la EFICIENCIA ENERGÉTICA,» *U4E United for Efficiency*, 2016.
- [4] Recyt, «ESTUDIOS TERRITORIALES,» 2021. [En línea]. [Último acceso: 2022].
- [5] G. P. Salazar, «PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO GENERAL,» 04 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/77790394-Empresa-electrica-regional-norte-s-a-emelnorte-s-a-informe-ejecutivo.html>.
- [6] Energytel, *Cargas no lineales en los transformadores de distribución*, 2013.
- [7] Sector Electricidad , 01 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://www.sectorelectricidad.com/13810/armonicos-que-son-y-como-nos-afectan/>.



- [8] D. Llanos Rodriguez, *Calidad de servicio Eléctrico*, 2003.
- [9] P. Chantera y D. Tobar, *ESTUDIO DE LÁMPARAS LED PARA ALUMBRADO PÚBLICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA CON CONTROL AUTOMATICO ON/OFF*, QUITO, 2013.
- [10] LED SIN DRIVER, *LA EVOLUCIÓN DEL LED*, 2014.
- [11] J. M. Gers, *Teoría y diseño de filtros de armónicos en sistemas eléctricos*, TECSUP, 2008.
- [12] A. Rodriguez Canzani y J. C. Pizzani Salao, *Desarrollo de un sistema configurable para la medición del flicker y fluctuaciones de tensión*, 2019.
- [13] D. J. Bastidas Chiluisa, *Análisis de perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker) y su incidencia en el comportamiento operativo dentro del área de concesión de la Corporación Nacional de Electricidad de Bolívar*, 2020.
- [14] Ó. Milán, *Detección de perturbaciones en la tensión de red con la transformada wavelet discreta.*, 2020.
- [15] Iberdrola Distribución eléctrica , *Efectos y Soluciones en Instalaciones Industriales*, 2018.



- [16] C. Rios, R. Gallego y M. Naranjo, *ANÁLISIS DE ARMÓNICOS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS*, 2003.
- [17] J. Caicedo , A. Romero y H. Zini, *Evaluation of harmonic distortion in residential distribution networks*, 2017.
- [18] K. O'Reilly, *MEDIDA Y ANÁLISIS DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CARGAS NO LINEALES AISLADAS Y COMBINADAS EN LOS RANGOS 0-2 kHz Y 2-9 kHz*, 2020.
- [19] R. P. Moreno Villacencio, *APLICACIÓN DE LA REGULACIÓN NRO. ARCERNNR 002/20 PARA LA CALIDAD DEL SERVICIO TÉCNICO EN CNEL SANTA ELENA*, La Libertad, 2022.
- [20] M. Toledo y C. Jimenez , *Analisis y propuesta para la mitigación de la contaminación armonica en las subestaciones de la empresa eléctrica regional centrosur*, Cuenca, 2010.
- [21] SYZ COMINSA SRL, *Soluciones para atenuar los armónicos en la red de distribución*, 2022.
- [22] C. A. Garzón Arévalo y W. E. Lozano Beltran, *Propuesta de Filtro activo de potencia para mitigación de armónicos de corriente con controlador no lineal basado en CBR*, 2020.



- [23] J. Petit Suárez , *Control de filtros activos de potencia para la mitigación de armónicos y mejora del factor de potencia en sistemas desequilibrados*, 2007.
- [24] C. Guevara, «Schedule,» 2023. [En línea]. Available: <https://aenit.utn.edu.ec/agenda/>.
- [25] METREL, *Manual de funcionamiento de PowerQ4 y PowerQ4 Plus*.
- [26] METREL, *PowerQ4 y PowerQ4 Plus MI 2592 y MI 2792 Manual de funcionamiento*, Eslovenia , 2011.
- [27] LEDEX, *TUBO LED*.
- [28] SILVANYA, *LED TUBE 18W T8 DL 100-240 VID*, 2017.
- [29] americanlite, *GS Series*.
- [30] . R. de Arce y R. Mahía , *MODELOS ARIMA*, 2001.
- [31] F. X. Andrade , *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE MICRORREDES ELÉCTRICAS ANTE PERTURBACIONES CON CONTROL CONVENCIONAL PRIMARIO*, 2019.

Anexos

Anexo 1. Levantamiento de información edificio FICA.



Anexo 2. Mediciones obtenidas en tablero marca Ledex

| AN | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| J(ProAct) [%] | THD 11(ProAct) [%] | THD IN(ProAct) [%] | TDD 11(ProAct) [%] | TDD IN(ProAct) [%] | U1 a1(ProAct) [%] | U1 a3(ProAct) [%] | U1 a5(ProAct) [%] | U1 a7(ProAct) [%] | U1 a9(ProAct) [%] | U1 a11(ProAct) [%] |
| 1,40 | 0,66 | 0,64 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,50 | 1,60 | 0,40 | 0,30 | 0,50 |
| 1,50 | 0,66 | 0,66 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,80 | 1,60 | 0,50 | 0,40 | 0,60 |
| 1,50 | 0,66 | 0,66 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,80 | 1,70 | 0,50 | 0,40 | 0,60 |
| 1,40 | 0,66 | 0,66 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,60 | 1,60 | 0,40 | 0,30 | 0,60 |
| 1,40 | 0,64 | 0,66 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,80 | 1,70 | 0,40 | 0,30 | 0,60 |
| 1,40 | 0,66 | 0,66 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,60 | 1,70 | 0,30 | 0,20 | 0,60 |
| | 0,66 | | | | | 0,68 | 1,65 | 0,42 | 0,32 | 0,58 |



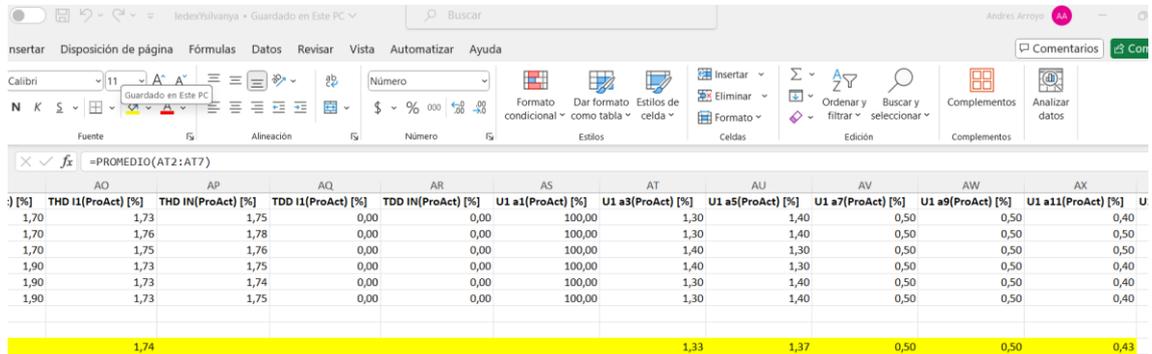
Anexo 3. Mediciones obtenidas en tablero marca American Lite

| N | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| THD I1(ProAct) [%] | THD IN(ProAct) [%] | TDD I1(ProAct) [%] | TDD IN(ProAct) [%] | U1 a1(ProAct) [%] | U1 a3(ProAct) [%] | U1 a5(ProAct) [%] | U1 a7(ProAct) [%] | U1 a9(ProAct) [%] | U1 a11(ProAct) [%] | U1 a13(ProAct) [%] |
| 1,80 | 3,51 | 3,57 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,10 | 1,80 | 0,50 | 0,40 | 0,70 |
| 1,80 | 3,57 | 3,65 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,10 | 1,80 | 0,50 | 0,30 | 0,60 |
| 1,80 | 3,61 | 3,67 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,10 | 1,90 | 0,50 | 0,30 | 0,60 |
| 1,80 | 3,59 | 3,66 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,10 | 1,80 | 0,50 | 0,40 | 0,60 |
| 1,80 | 3,60 | 3,66 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,00 | 1,90 | 0,50 | 0,40 | 0,60 |
| 1,80 | 3,57 | 3,65 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,00 | 1,80 | 0,50 | 0,40 | 0,60 |
| 3,58 | | | | | | 1,07 | 1,83 | 0,50 | 0,37 | 0,62 |

Anexo 4. Mediciones obtenidas en tablero marca Silvanya

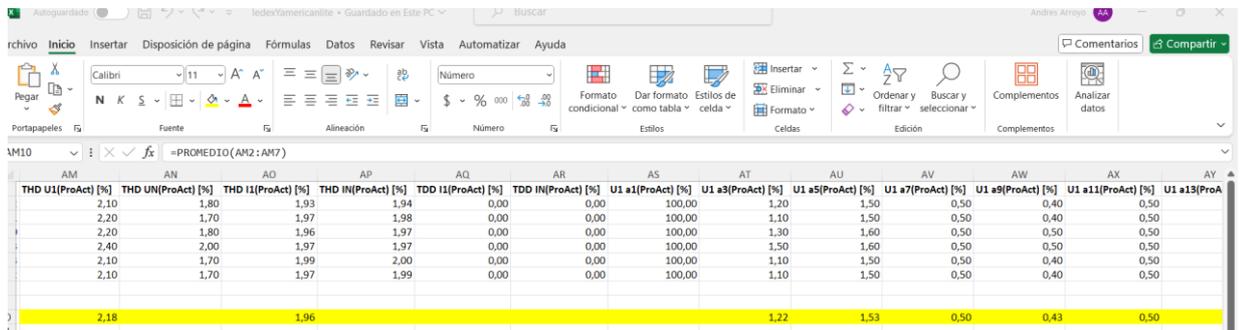
| U1 | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| THD I1(ProAct) [%] | THD IN(ProAct) [%] | TDD I1(ProAct) [%] | TDD IN(ProAct) [%] | U1 a1(ProAct) [%] | U1 a3(ProAct) [%] | U1 a5(ProAct) [%] | U1 a7(ProAct) [%] | U1 a9(ProAct) [%] | U1 a11(ProAct) [%] | U1 a13(ProAct) [%] |
| 2,20 | 3,12 | 3,16 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,90 | 1,80 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| 2,20 | 3,21 | 3,24 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,90 | 1,90 | 0,50 | 0,50 | 0,60 |
| 2,20 | 3,24 | 3,27 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 0,90 | 1,80 | 0,50 | 0,50 | 0,60 |
| 2,20 | 3,22 | 3,25 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,00 | 1,80 | 0,60 | 0,40 | 0,60 |
| 2,00 | 3,22 | 3,26 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,00 | 1,80 | 0,60 | 0,40 | 0,60 |
| 1,80 | 3,24 | 3,26 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,00 | 1,90 | 0,50 | 0,50 | 0,60 |
| 3,21 | | | | | | 0,95 | 1,83 | 0,53 | 0,47 | 0,58 |

Anexo 5. Mediciones obtenidas en tablero combinación Ledex y Silvanya



| | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX |
|--------------------|-------------|------|------|------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| THD I1(ProAct) [%] | 1,70 | 1,73 | 1,75 | 0,00 | 100,00 | 1,30 | 1,40 | 0,50 | 0,50 | 0,40 |
| THD IN(ProAct) [%] | 1,70 | 1,76 | 1,78 | 0,00 | 100,00 | 1,30 | 1,40 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| TDD I1(ProAct) [%] | 1,70 | 1,75 | 1,76 | 0,00 | 100,00 | 1,40 | 1,30 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| TDD IN(ProAct) [%] | 1,90 | 1,73 | 1,75 | 0,00 | 100,00 | 1,40 | 1,30 | 0,50 | 0,50 | 0,40 |
| U1 a1(ProAct) [%] | 1,90 | 1,73 | 1,74 | 0,00 | 100,00 | 1,30 | 1,40 | 0,50 | 0,50 | 0,40 |
| U1 a3(ProAct) [%] | 1,90 | 1,73 | 1,75 | 0,00 | 100,00 | 1,30 | 1,40 | 0,50 | 0,50 | 0,40 |
| Promedio | 1,74 | | | | | 1,33 | 1,37 | 0,50 | 0,50 | 0,43 |

Anexo 6. Mediciones obtenidas en tablero combinación Ledex y American Lite



| | AM | AN | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX | AY |
|--------------------|-------------|------|-------------|------|------|------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| THD U1(ProAct) [%] | 2,10 | 1,80 | 1,93 | 1,94 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,20 | 1,50 | 0,50 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| THD UN(ProAct) [%] | 2,20 | 1,70 | 1,97 | 1,98 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,10 | 1,50 | 0,50 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| THD I1(ProAct) [%] | 2,20 | 1,80 | 1,96 | 1,97 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,30 | 1,60 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| THD IN(ProAct) [%] | 2,40 | 2,00 | 1,97 | 1,97 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,50 | 1,60 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| TDD I1(ProAct) [%] | 2,10 | 1,70 | 1,99 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,10 | 1,50 | 0,50 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| TDD IN(ProAct) [%] | 2,10 | 1,70 | 1,97 | 1,99 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,10 | 1,50 | 0,50 | 0,40 | 0,50 | 0,50 |
| Promedio | 2,18 | | 1,96 | | | | | 1,22 | 1,53 | 0,50 | 0,43 | 0,50 | 0,50 |



Anexo 7. Mediciones obtenidas en tablero combinación Silvanya y American Lite

| | AM | AN | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX |
|----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 11 | THD U1(ProAct) [%] | THD UN(ProAct) [%] | THD I1(ProAct) [%] | THD IN(ProAct) [%] | TDD I1(ProAct) [%] | TDD IN(ProAct) [%] | U1 a1(ProAct) [%] | U1 a3(ProAct) [%] | U1 a5(ProAct) [%] | U1 a7(ProAct) [%] | U1 a9(ProAct) [%] | U1 a11(ProAct) [%] |
| 12 | 2,90 | 2,70 | 3,14 | 3,15 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 2,00 | 1,70 | 0,50 | 0,60 | 0,50 |
| 17 | 2,60 | 2,30 | 3,28 | 3,29 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,70 | 1,60 | 0,50 | 0,60 | 0,60 |
| 59 | 2,40 | 2,00 | 3,30 | 3,32 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,50 | 1,50 | 0,60 | 0,50 | 0,50 |
| 69 | 2,90 | 2,60 | 3,19 | 3,20 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,90 | 1,80 | 0,60 | 0,60 | 0,50 |
| 31 | 2,40 | 2,00 | 3,29 | 3,31 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,50 | 1,50 | 0,60 | 0,50 | 0,60 |
| 32 | 2,40 | 2,00 | 3,29 | 3,31 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,60 | 1,50 | 0,50 | 0,50 | 0,60 |
| | 2,60 | | 3,25 | | | | | 1,70 | 1,60 | 0,55 | 0,55 | 0,55 |

Anexo 8. Mediciones obtenidas en tablero conjunto de tres luminarias

| | AM | AN | AO | AP | AQ | AR | AS | AT | AU | AV | AW | AX |
|----|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | ProAct [%] | THD UN(ProAct) [%] | THD I1(ProAct) [%] | THD IN(ProAct) [%] | TDD I1(ProAct) [%] | TDD IN(ProAct) [%] | U1 a1(ProAct) [%] | U1 a3(ProAct) [%] | U1 a5(ProAct) [%] | U1 a7(ProAct) [%] | U1 a9(ProAct) [%] | U1 a11(ProAct) [%] |
| 2 | 2,50 | 2,00 | 2,21 | 2,22 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,40 | 1,90 | 0,40 | 0,30 | |
| 3 | 2,60 | 2,20 | 2,27 | 2,28 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,50 | 1,90 | 0,50 | 0,50 | |
| 4 | 2,70 | 2,20 | 2,27 | 2,27 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,60 | 1,90 | 0,50 | 0,50 | |
| 5 | 2,40 | 2,00 | 2,25 | 2,25 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,60 | 1,60 | 0,60 | 0,50 | |
| 6 | 2,40 | 2,00 | 2,27 | 2,27 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,60 | 1,60 | 0,50 | 0,50 | |
| 7 | 2,40 | 2,00 | 2,28 | 2,28 | 0,00 | 0,00 | 100,00 | 1,50 | 1,50 | 0,60 | 0,60 | |
| 8 | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 2,50 | | 2,26 | | | | | 1,53 | 1,73 | 0,52 | 0,48 | |
| 11 | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | |



Anexo 9. Extrapolación de luminarias American Lite

| | B | C | D | E | F | G | |
|----|--------------------|------------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|-----------|
| | THD U1[ProAct] [%] | Diferencia = Yt | | $Yt=c+\phi 1Yt-1+\phi 2Yt-2+\phi 3Yt-3+\theta 1e-1+\theta 2e-2+\theta 3e-3+e t$ (estimacion de la diferencia) | $e t=D t-D t$ (Diferencia real menos la estimada) | Error al Cuadrado | Error Cua |
| 99 | 2,40 | | | | | | |
| 32 | 2,40 | 0,00 | | | 0,00 | 0,00 | 0,000000 |
| 80 | 2,30 | -0,10 | | | 0,00 | -0,10 | 0,0100000 |
| 21 | 2,30 | 0,00 | | | -0,10 | 0,10 | 0,0100000 |
| 90 | 2,30 | 0,00 | | | -0,005 | 0,01 | 0,0000250 |
| 90 | 2,40 | 0,10 | | | -0,00475 | 0,10 | 0,0109726 |
| | | Promedio d=y1-y2 | | Pronostico siguiente diferencia | | 0,0154675 | |
| | | 0,00 | | | | | |
| | | | | Valor real Pronostico | | 2,41549 | |
| | | | | Para Extrapolar a Número de Luminarias | | 3,8972 | |

Anexo 10. Extrapolación de luminarias LEDEX

| | B | C | D | E | F | G | |
|--|------------------------|--------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------|------|
| | hora [UTC] | UI a11[ProAct] [%] | Diferencia = Yt | $Yt=c+\phi 1Yt-1+\phi 2Yt-2+\phi 3Yt-3+\theta 1e-1+\theta 2e-2+\theta 3e-3+e t$ (estimacion de la diferencia) | $e t=D t-D t$ (Diferencia real menos la estimada) | | |
| | 30.5.2024 13:18:59,999 | 0,60 | | | | | 0,0 |
| | 30.5.2024 13:28:59,932 | 0,60 | 0,00 | | | 0,00 | 0,0 |
| | 30.5.2024 13:38:59,980 | 0,60 | 0,00 | | | 0,00 | 0,0 |
| | 30.5.2024 13:48:59,921 | 0,50 | -0,10 | | | -0,10 | 0,0 |
| | 30.5.2024 13:58:59,890 | 0,60 | 0,10 | | | -0,005 | 0,1 |
| | 30.5.2024 14:08:59,890 | 0,60 | 0,00 | | | 0,00525 | -0,0 |
| | | Promedio d=y1-y2 | | Pronostico siguiente diferencia | | 0,0049875 | |
| | | 0,00 | | | | | |
| | | | | Valor real Pronostico | | 0,60499 | |
| | | | | Para Extrapolar a Número de Luminarias | | 1,2151 | |



Anexo 11. Extrapolación de luminarias Silvanya

| B | C | D | E | F | G |
|--------------------|------------------|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------|
| THD I1(ProAct) [%] | Diferencia = Yt | | $Yt = c + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \phi_3 Y_{t-3} + \theta_1 t - 1 + \theta_2 t - 2 + \theta_3 t - 3 + \epsilon_t$ (estimación de la diferencia) | $\epsilon_t = D_t - \hat{D}_t$ (Diferencia real menos la estimada) | Error al Cuadrado |
| 3,21 | | | | | |
| 3,12 | -0,09 | | | 0,00 | -0,09 |
| 3,24 | 0,12 | | | 0,00 | 0,12 |
| 3,22 | -0,02 | | | -0,10 | 0,08 |
| 3,22 | 0,00 | | | 0,0128 | -0,01 |
| 3,24 | 0,02 | | | 0,02116 | 0,00 |
| | | | | 0,010202 | |
| | Promedio d=y1-y2 | | Pronostico siguiente diferencia | | |
| | 0,01 | | | | |
| | | | | | |
| | | | Valor real Pronostico | 3,25320 | |
| | | | | | |
| | | | Para Extrapolar a Número de Luminarias | 3,8292 | |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Cronograma de actividades

| Objetivo | Actividades | es 1 | | es 2 | | es 3 | | es 4 | | es 5 | | es 6 | | es 7 | | es 8 | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Describir las tecnologías relacionadas con los armónicos y las normativas vigentes en el país para la iluminación de bajo consumo. | 1.1. Conocer las normativas vigentes en el país. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3.2. Conocer la tecnología de las luminarias de bajo consumo | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.3. Investigar el funcionamiento de un analizador de redes. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Analizar las distorsiones armónicas generadas por la utilización de luminarias tipo ED | 2.1. Utilización del analizador de red | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2.2. Proceso de la información recopilada. | | | | | | | | | | | | | | | | | |

