



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS  
DE LA NUEVA TECNOLOGÍA LED OFRECIDA EN EL  
MERCADO

Br. Jesús Alejandro Montilla Goncalves.

Mérida, Enero, 2019

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS DE LA  
NUEVA TECNOLOGÍA LED OFRECIDA EN EL MERCADO

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Electricista

Br. Jesús Alejandro Montilla Goncalves

Tutor: Luz Stella Moreno

Asesor: Fernando Emilio Dugarte

Mérida, Enero, 2019

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

# VERIFICACIÓN DE LOS PARÁMETROS LUMINOTÉCNICOS DE LA NUEVA TECNOLOGÍA LED OFRECIDA EN EL MERCADO

Br. Jesús Alejandro Montilla Goncalves.

Trabajo de Grado presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobado en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

---

Prof. Ernesto José Mora N.

---

Prof. Ricardo Isaac Stephens L.

---

Prof. Luz Stella Moreno Martín

*Todos nuestros sueños pueden hacerse realidad si tenemos  
el coraje de perseguirlos*

---

WALT DISNEY

*A mis padres, hermanas, y sobrino.*

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios y a la Virgen por ser mis guías siempre, por darme la fuerza para levantarme cada vez que he caído, la sabiduría, entendimiento, para lograr culminar esta hermosa etapa con éxito.

A la ilustre Universidad de Los Andes, a la escuela de Ingeniería Eléctrica y sus profesores, por darme la formación profesional y personal que todo estudiante debería aspirar. Gracias por abrirme las puertas para cumplir este sueño.

A mi tutora, Profesora Luz Stella Moreno por brindarme su apoyo durante la elaboración de este trabajo de grado. Su paciencia, orientación y confianza fueron claves en la elaboración de este proyecto. Muchas gracias por ayudarme a crecer en esta área y encontrar una pasión.

A mi asesor, Fernando Dugarte por ser un guía durante todo este trabajo, por todo el tiempo dedicado, por compartir su conocimiento dentro y fuera del laboratorio. Gracias por la oportunidad brindada, por enseñarme que antes de ser un gran profesional es importante ser una excelente persona.

Al laboratorio 3 y 4 de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes por los servicios prestados para el desarrollo de este trabajo.

A mi padre, madre, y hermanas, quienes estuvieron presente en todo momento, y supieron decir las palabras indicadas cuando necesitaba un consejo, por siempre brindarme amor, apoyarme y confiar plenamente en mí.

A mis amigos, tanto a los que tuve la dicha de conocer en la Facultad, como a los que estuvieron a mi lado antes y durante toda mi experiencia universitaria. Les agradezco todas las experiencias vividas y los momentos compartidos, hicieron inolvidable esta etapa de mi vida.

Jesús Alejandro Montilla Goncalves

**Jesús A. Montilla G. Verificación de los parámetros luminotécnicos de la nueva tecnología LED ofrecida en el mercado.** Universidad de Los Andes. Tutor: Prof. Luz Stella Moreno. Enero, 2019.

## RESUMEN

La nueva tecnología LED en la actualidad está creciendo considerablemente en el mercado mundial, debido a que cuenta con indicadores lumínicos favorables, proporciona iluminación con un bajo consumo energético, y una vida útil más larga en comparación con las lámparas incandescentes y fluorescente. Por estas razones, las lámparas LED tiene la capacidad de sustituir a las demás bombillas tradicionales de luz. Esta tecnología también está enfocada en el cuidado del medio ambiente, ya que son más ecológicas, puesto a que no requiere filamentos, ni gas, también es libre de mercurio para su funcionamiento y además, no transforma la luz en calor. Debido a todo esto, el presente estudio tiene como objetivo de verificar los parámetros luminotécnicos de la tecnología LED ofrecida en el mercado, mediante diversos estudios tales como: el espectro luminoso, los armónicos emitidos en la red, consumos eléctricos exigidos, comprobación de la vida útil y vida media, depreciación del flujo luminoso, curvas de distribución de la intensidad luminosa, y análisis técnico económico. Dando como resultados la comprobación de los parámetros luminotécnicos de las lámparas en estudio, para certificar las ventajas de esta tecnología y brindar a los usuarios una máxima calidad de iluminación en el desarrollo de sus actividades.

**Descriptor:** Tecnología lámparas LED, Parámetros luminotécnicos, Análisis técnico-económico.

## ÍNDICE GENERAL

|   |            |
|---|------------|
| APROBACIÓN . . . . .                              | ii         |
| DEDICATORIA . . . . .                             | iii        |
| AGRADECIMIENTOS . . . . .                         | iv         |
| RESUMEN . . . . .                                 | v          |
| INTRODUCCIÓN . . . . .                            | 1          |
| <br>  |            |
| <b>Capítulo</b>                                   | <b>pp.</b> |
| <b>1. EVALUACIÓN DEL PROBLEMA . . . . .</b>       | <b>3</b>   |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA . . . . .          | 3          |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN . . . . .   | 3          |
| 1.3 OBJETIVOS . . . . .                           | 4          |
| 1.3.1 Objetivo general . . . . .                  | 4          |
| 1.3.2 Objetivos específicos . . . . .             | 4          |
| 1.4 METODOLOGÍA . . . . .                         | 5          |
| 1.5 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN . . . . .        | 5          |
| 1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN . . . . .    | 5          |
| <br>  |            |
| <b>2. MARCO TEÓRICO . . . . .</b>                 | <b>6</b>   |
| 2.1 LUZ . . . . .                                 | 6          |
| 2.1.1 Magnitudes fotométricas . . . . .           | 7          |
| 2.1.2 Visión de color . . . . .                   | 8          |
| 2.2 LÁMPARAS . . . . .                            | 8          |
| 2.2.1 Lámparas incandescentes . . . . .           | 9          |
| 2.2.2 Lámparas fluorescentes . . . . .            | 9          |
| 2.2.3 Tubos LED . . . . .                         | 10         |
| 2.2.4 Lámparas LED . . . . .                      | 11         |
| 2.3 COMPONENTES DE LAS LÁMPARAS LED . . . . .     | 13         |
| 2.3.1 Chip . . . . .                              | 13         |
| 2.3.2 El <i>driver</i> . . . . .                  | 13         |
| 2.3.3 Placa Base . . . . .                        | 14         |
| 2.3.4 Sistema de gestión térmica . . . . .        | 14         |
| 2.3.5 La óptica . . . . .                         | 14         |
| 2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÁMPARAS LED . . . . . | 15         |
| 2.4.1 Características cromáticas . . . . .        | 15         |
| 2.4.2 Eficacia . . . . .                          | 15         |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 2.4.3     | Potencia . . . . .   | 16        |
| 2.4.4     | Vida media . . . . .   | 16        |
| 2.4.5     | Condiciones de servicio . . . . .  | 17        |
| 2.4.6     | Depreciación del flujo luminoso . . . . .  | 17        |
| 2.5       | <b>TIPOLOGÍA DE LAS LÁMPARAS LED . . . . .</b>   | <b>18</b> |
| 2.5.1     | LED DIP . . . . .  | 18        |
| 2.5.2     | LED SMD . . . . .  | 19        |
| 2.5.3     | LED COB . . . . .  | 20        |
| 2.5.4     | LED MCOB . . . . .   | 20        |
| 2.6       | ARMÓNICOS . . . . .  | 20        |
| 2.7       | APLICACIONES DE LAS LÁMPARAS LED . . . . .   | 21        |
| <b>3.</b> | <b>DESARROLLO EXPERIMENTAL . . . . .</b>   | <b>22</b> |
| 3.1       | TIPOS DE LÁMPARAS UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO . . . . .   | 22        |
| 3.2       | ANÁLISIS MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL DE LOS ARMÓNICOS<br>EMITIDOS POR CADA UNA DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO A LA<br>RED. . . . . | 24        |
| 3.3       | ANÁLISIS Y COMPARACIÓN MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL<br>DE LA POTENCIA DE CONSUMO DE CADA UNA DE LAS LÁMPARAS<br>LED . . . . .       | 36        |
| 3.3.1     | Valores de tensión de las lámparas. . . . .  | 37        |
| 3.3.2     | Valores de corriente de las lámparas. . . . .  | 38        |
| 3.3.3     | Valores de factor de potencia. . . . .   | 39        |
| 3.4       | COMPROBACIÓN DEL ESPECTRO LUMINOSO DE CADA UNA DE LAS<br>LÁMPARAS LED EN ESTUDIO. . . . .  | 40        |
| 3.5       | ANÁLISIS MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL PARA LA DETERMI-<br>NACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN LUMINOSA . . . . .                              | 47        |
| 3.6       | ANÁLISIS MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL DE LA VIDA ÚTIL Y<br>DE LA VIDA MEDIA DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO. . . . .                 | 52        |
| 3.6.1     | Vida media de las lámparas. . . . .  | 52        |
| 3.6.2     | Vida útil de las lámparas. . . . .   | 57        |
| 3.7       | EFFECTOS DEL APAGADO EN LA VIDA ÚTIL DE LAS LÁMPARAS LED<br>EN ESTUDIO . . . . .   | 61        |
| 3.8       | ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO  | 64        |
| <b>4.</b> | <b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS . . . . .</b>  | <b>69</b> |
| 4.1       | COMPARACIÓN DE LOS ARMÓNICOS EMITIDOS POR CADA UNA DE<br>LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO A LA RED . . . . .                                  | 69        |
| 4.2       | POTENCIA DE CONSUMO DE CADA UNA DE LAS LÁMPARAS LED . . . . .  | 70        |

|       |   |           |
|-------|---|-----------|
| 4.3   | COMPARACIONES MEDIANTE EL ESPECTRO LUMINOSO DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO . . . . .                          | 72        |
| 4.4   | COMPARACIONES MEDIANTE LA VIDA ÚTIL Y LA CURVA DE DEPRECIACIÓN DEL FLUJO DE LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO . . . . . | 74        |
| 4.5   | COMPARACIONES SOBRE LOS EFECTOS DEL APAGADO Y ENCENDIDO EN LA VIDA ÚTIL DE LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO. . . . .   | 75        |
| 4.6   | COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS LÁMPARAS LED . . . . .                                      | 76        |
| 4.7   | ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO . . . . .                                   | 77        |
| 4.7.1 | Ventajas . . . . .  | 77        |
| 4.7.2 | Desventajas . . . . .   | 78        |
|       | <b>CONCLUSIONES . . . . .</b>   | <b>79</b> |
|       | <b>RECOMENDACIONES . . . . .</b>  | <b>80</b> |
|       | <b>REFERENCIAS . . . . .</b>  | <b>81</b> |
|       | <b>GLOSARIO DE TÉRMINOS . . . . .</b>   | <b>84</b> |

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

## ÍNDICE DE TABLAS

| <b>Tabla</b>  | <b>pp.</b> |
|---|------------|
| 3.1 Datos del fabricante de cada una de las lámparas estudiadas. . . . .                            | 23         |
| 3.2 Valores de distorsión armónica de Tensión y Corriente de la lámpara BULBO<br>LED. . . . .       | 35         |
| 3.3 Valores de distorsión armónica de Tensión y Corriente de la lámpara TUBO<br>LED. . . . .        | 36         |
| 3.4 Medición de voltaje de cada lámpara. . . . .  | 37         |
| 3.5 Medidas de corriente para cada una de las lámparas. . . . .                                     | 38         |
| 3.6 Medición del factor de potencia de cada una de las lámparas. . . . .                            | 40         |
| 3.7 Características eléctricas del bombillo LED y tubo LED. . . . .                                 | 40         |
| 3.8 Rango de espectros luminosos visibles. . . . .  | 44         |
| 3.9 Características de luxómetro digital marca EXTECH modelo 403125. . . . .                        | 49         |
| 3.10 Tiempo de registro de la vida media de las lámparas LED . . . . .                              | 56         |
| 3.11 Iluminancia medida en lux para cada una las lámparas en estudio. . . . .                       | 58         |
| 3.12 Mediciones de iluminancia con reencendidos de cada una de las lámparas en<br>estudio . . . . . | 62         |
| 3.13 Precios actuales y costos mensuales de funcionamiento para lámparas LED .                      | 66         |
| 3.14 Costo Mensual Uniforme Equivalente de las lámparas LED . . . . .                               | 67         |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>Figura</b>  | <b>pp.</b> |
|--|------------|
| 2.1 Espectro electromagnético de la luz visible. . . . .   | 7          |
| 2.2 Lámpara incandescente con sus partes. . . . .  | 9          |
| 2.3 Diferentes tipos de lámparas fluorescentes. . . . .  | 10         |
| 2.4 Partes de un tubo LED. . . . .   | 11         |
| 2.5 Lámpara LED. . . . .   | 12         |
| 2.6 Partes de una lámpara LED. . . . .   | 13         |
| 2.7 Característica cromáticas de una lámpara LED. . . . .  | 15         |
| 2.8 Eficacia de una lámpara LED. . . . .   | 16         |
| 2.9 Equivalencia relativa de las potencias consumido por un LED y Lámparas<br>convencionales. . . . .                        | 17         |
| 2.10 Ejemplo de la depreciación del flujo luminoso en una lámpara LED. . . . .   | 18         |
| 2.11 Tipos de lámparas LED. . . . .  | 18         |
| 2.12 LED DIP. . . . .  | 19         |
| 3.1 Lámpara LED BULB CLASSIC LUX 12 W. . . . .   | 23         |
| 3.2 Lámpara TUBO T8 LED IKATALED 9W. . . . .   | 23         |
| 3.3 Osciloscopio TEKTRONIX TDS1002. . . . .  | 25         |
| 3.4 Osciloscopio UNIT-T modelo UTD2102CEX. . . . .   | 25         |
| 3.5 Circuito empleado para medir los armónicos de las lámparas en estudio. . . . .   | 25         |
| 3.6 Caída de tensión respecto a la resistencia del BULBO LED con osciloscopio<br>TEKTRONIX. . . . .                          | 26         |
| 3.7 Señales de voltaje y corriente del BULBO LED con osciloscopio UNIT-T. . . . .  | 26         |
| 3.8 Señales de voltaje y corriente superpuesta del BULBO LED con osciloscopio<br>TEKTRONIX. . . . .                          | 27         |
| 3.9 Señales de voltaje y corriente superpuesta del BULBO LED con osciloscopio<br>UNIT-T. . . . .                             | 27         |
| 3.10 Señales de voltaje y corriente y espectro armónico de la corriente del BULBO<br>LED con el osciloscopio UNIT-T. . . . . | 28         |
| 3.11 Espectro armónico de voltaje del BULBO LED observado en la pantalla del<br>osciloscopio UNIT-T. . . . .                 | 28         |
| 3.12 Espectro armónico de corriente del BULBO LED observado en la pantalla<br>del osciloscopio UNIT-T. . . . .               | 29         |
| 3.13 Zoom del espectro armónico de corriente del BULBO LED observado en la<br>pantalla del osciloscopio UNIT-T. . . . .      | 29         |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.14 | Señales de voltaje y corriente superpuesta del TUBO LED con osciloscopio TEKTRONIX. . . . .  | 30 |
| 3.15 | Señales de voltaje y corriente superpuesta del TUBO LED con osciloscopio UNIT-T. . . . .   | 30 |
| 3.16 | Zoom comienzo de la señal de corriente TUBO LED en pantalla del osciloscopio TEKTRONIX. . . . .  | 31 |
| 3.17 | Espectro armónico de corriente del TUBO LED observado en la pantalla del osciloscopio UNIT-T. . . . .  | 31 |
| 3.18 | Zoom del espectro armónico de corriente del TUBO LED observado en la pantalla del osciloscopio UNIT-T. . . . .   | 32 |
| 3.19 | Curvas de las lámparas BULBO LED con aplicación de la Transformada de Fourier que producen los armónicos reales de la corriente inyectados a la red. . . . . | 33 |
| 3.20 | Curvas de las lámparas BULBO LED con aplicación de Transformada de Fourier que producen los armónicos reales del voltaje inyectados a la red. . . . .        | 33 |
| 3.21 | Curvas de las lámparas TUBO LED con aplicación de Transformada de Fourier que producen los armónicos reales de la corriente inyectados a la red. . . . .     | 34 |
| 3.22 | Curvas de las lámparas TUBO LED con aplicación de Transformada de Fourier que producen los armónicos reales del voltaje inyectados a la red. . . . .         | 34 |
| 3.23 | Circuito de medición de voltaje para lámparas LED . . . . .  | 37 |
| 3.24 | Multímetro utilizado para la medición de voltaje. . . . .  | 37 |
| 3.25 | Circuito de medición para la corriente de las lámparas LED . . . . .   | 38 |
| 3.26 | Pinza amperimétrica para medir corriente. . . . .  | 38 |
| 3.27 | Circuito de medición del factor de potencia de las lámparas en estudio. . . . .  | 39 |
| 3.28 | Cosfímetro para medir el factor de potencia. . . . .   | 39 |
| 3.29 | Esquema de funcionamiento del espectrofotómetro. . . . .   | 42 |
| 3.30 | Esquema del montaje experimental. . . . .  | 43 |
| 3.31 | Respuesta espectral del fotodetector en función de la longitud de onda. . . . .  | 43 |
| 3.32 | Tarjeta de adquisición de datos Pico Technology DAC-100. . . . .   | 43 |
| 3.33 | Distribución espectral completa con rango de emisiones ultravioletas de las lámparas BULBO LED CLASSIC LUX 12W con tapa difusora. . . . .                    | 44 |
| 3.34 | Distribución espectral de las lámparas BULBO LED CLASSIC LUX 12W con tapa difusora. . . . .  | 45 |
| 3.35 | Distribución espectral de las lámparas BULBO LED CLASSIC LUX 12W sin la tapa difusora. . . . .   | 45 |
| 3.36 | Distribución espectral de las lámparas TUBO LED IKATALED 9W. . . . .   | 46 |
| 3.37 | Señales de voltaje y corriente superpuesta del BULBO LED con osciloscopio UNIT-T. . . . .  | 47 |
| 3.38 | Esquema del montaje experimental con el BULBO LED. . . . .   | 48 |
| 3.39 | Esquema del montaje experimental con el TUBO LED. . . . .  | 48 |

- 3.40 Luxómetro digital marca EXTECH modelo 403125. . . . . 49
- 3.41 Diagrama curva polar de las lámparas BULBO LED. . . . . 49
- 3.42 Diagrama cartesiano de las lámparas BULBO LED. . . . . 50
- 3.43 Diagrama curva polar de las lámparas TUBO LED. . . . . 50
- 3.44 Diagrama curva polar transversal de la lámpara TUBO LED. . . . . 50
- 3.45 Diagrama cartesiano de las lámparas TUBO LED. . . . . 51
- 3.46 Circuito electrónico con LDR y emisión de luz. . . . . 54
- 3.47 Circuito electrónico con LDR sin emisión de luz. . . . . 54
- 3.48 Circuito con optoacopladores y triac. . . . . 55
- 3.49 Tarjeta de adquisición de datos National Instruments 6009. . . . . 55
- 3.50 Interfaz gráfica del programa utilizado en LABVIEW. . . . . 55
- 3.51 Circuito empleado para el funcionamiento del programa en LABVIEW. . . . . 56
- 3.52 Curva de depreciación del flujo luminoso en (lux)de la lámpara LED BULB  
12W. . . . . 59
- 3.53 Curva de depreciación del flujo luminoso en (lux) de la lámpara LED TUBO  
9W . . . . . 59
- 3.54 Curva de depreciación proyectada de la lámpara LED Bulbo 12W. . . . . 60
- 3.55 Curva de depreciación proyectada de la lámpara LED TUBO 9W . . . . . 60
- 3.56 Curva de depreciación del flujo luminoso en (lux) del reencendido de la lám-  
para LED BULBO 12W. . . . . 61
- 3.57 Proyección de la curva de depreciación del flujo luminoso del reencendido de  
la lámpara LED BULBO 12W . . . . . 63
- 3.58 Curva de depreciación del flujo luminoso del reencendido la lámpara LED  
TUBO 9W. . . . . 63
- 3.59 Proyección de la depreciación del flujo luminoso en (lux) del reencendido la  
lámpara LED TUBO 9W. . . . . 64
- 3.60 Análisis de sensibilidad variando la tasa de interés. . . . . 68
- 3.61 Análisis de sensibilidad variando la tarifa de pago. . . . . 68
- 4.1 Comparación entre la Potencia Activa (W) de las lámparas LED estudiadas. 70
- 4.2 Comparación entre la Potencia Aparente (VA) de las lámparas LED. . . . . 71
- 4.3 Factor de Potencia de las lámparas LED estudiadas. . . . . 71
- 4.4 Potencia Reactiva (VAR) de lámpara LED estudiadas. . . . . 72
- 4.5 Distribución del espectro óptico de las lámparas BULBO LED 12W. . . . . 73
- 4.6 Distribución del espectro óptico de las lámparas TUBO LED 9W. . . . . 73
- 4.7 Curva de depreciación entre las lámparas BULBO LED 12 W y TUBO LED  
9W. . . . . 74
- 4.8 Depreciación de voltaje entre las lámparas BULBO LED 12 W y TUBO LED  
9W. . . . . 74
- 4.9 Efectos del reencendido en la lámpara BULBO LED 12 W . . . . . 75

www.pdfdigital.ula.ve

4.10 Efectos del reencendido en la lámpara TUBO LED 9W. . . . . 76

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# INTRODUCCIÓN

La iluminación es un acontecimiento que pasa desapercibido por las personas cotidianamente, es difícil ver nuestra vida y nuestra sociedad sin equipos que pongan luz en nuestro entorno. En los últimos años se viene introduciendo a gran escala una tecnología que está generando grandes expectativas en cuanto a presentaciones de estas nuevas lámparas. Donde se ha visto, como la iluminación ha podido experimentar un gran avance a nivel de eficiencia, confort visual, y conciencia para cuidar el medio ambiente basadas en la tecnología LED. El desarrollo de esta tecnología ha hecho que con el paso del tiempo sea la mejor alternativa a otras tecnologías tradicionales de luz.

El nombre LED viene de las siglas en inglés de Light Emitting Diode (diodo emisor de luz). Son dispositivos semiconductores de estado sólido de gran resistencia (sin filamento, gas inerte, o mercurio), que, al recibir una corriente eléctrica de muy baja intensidad, se polariza y emiten luz de forma muy eficiente y con un alto rendimiento donde tiene la capacidad de convertir la energía eléctrica directamente en luz. Esto significa que la luz LED se enciende instantáneamente en un 100% de su intensidad sin producir parpadeos, ni periodos de arranque, y es independiente a la temperatura.

Las lámparas LED suelen tener varios grupos de LED en una bombilla. Este método asegura de emitir suficiente luz para actuar como un reemplazo de las tecnologías incandescentes y fluorescente. A pesar de los componentes que contiene, estas luces, requieren considerable un menor consumo de energía que los tradicionales. Esto se debe a que la electricidad se transforma directamente en luz, mientras que las bombillas incandescentes y halógenas utilizan electricidad para calentar un filamento hasta que se ilumina en rojo vivo.

La falta de calor constante en el sistema también significa que las lámparas LED son mucho más duraderas. Pueden durar hasta 40.000 horas en comparación con las luces tradicionales que duran aproximadamente 800 horas. Este tiempo de vida puede traer ahorros significativos. Esta tecnología de luces LED pueden durar muchos años sin reemplazo.

Este tipo de lámparas para emitir luz blanca, se tiene que usar una combinación de LED rojo, verde y azul, pero este método a menudo puede producir luz de baja calidad.

Por todas estas razones, en este trabajo se busca corroborar, los parámetros luminotécnicos existentes en este tipo de lámparas LED, con la finalidad de conocer todas sus especificaciones técnicas.

Con el fin de cumplir los objetivos plateados, el presente trabajo está organizado en cuatro capítulos. Capítulo 1. Contiene el planteamiento del problema, justificación, y el objetivo de la investigación que consiste en analizar los parámetros luminotécnicos de las nuevas lámparas LED, así como la metodología, alcance y limitaciones. En el Capítulo 2, se presenta una breve reseña bibliográfica sobre la tecnología LED, antecedentes de la investigación. En el Capítulo 3, se desarrolla la parte experimental, donde se basa en una serie de experiencias realizadas, base de datos recolectados y expresados en tablas y en gráficas de las lámparas LED que fueron sometidas en estudio. Estas medidas experimentales recolectadas tienen la finalidad de analizar y verificar los parámetros de interés en esta investigación, como son: el espectro luminoso, los armónicos emitidos en la red, consumos eléctricos exigidos, comprobación de la vida útil y vida media, depreciación del flujo luminoso, curvas de distribución de la intensidad luminosa. Finalmente, en el Capítulo 4, se analiza los resultados obtenidos, con la base de resultados que se lograron obtener en el capítulo 3, con el fin de comprobar los parámetros que señala el fabricante y demostrar la eficacia que tiene estas lámparas en estudio.

Finalmente se tienen las Conclusiones y Recomendaciones.

# CAPÍTULO 1

## EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe de manera detallada el planteamiento del problema, justificación de la investigación, objetivos generales y específicos metodología, así como el alcance y las limitaciones del problema en estudio.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo energético y la corta vida útil de las luminarias de tipo incandescentes y fluorescentes que se utilizan en la mayoría de los ambientes aumentan el costo económico y ecológico de estos tipos de iluminación. Es por esta razón que en la actualidad se buscan nuevas tecnologías que disminuyan estos costos. Si bien, es ampliamente conocido que el uso de la iluminación a través de diodos LED es costoso inicialmente, un estudio detallado de esta novedosa tecnología podría justificar la inversión a largo plazo, ya que existiría un ahorro en el consumo de potencia eléctrica y una menor necesidad de estar renovando las luminarias, además de ofrecer una mayor eficacia.

Las luminarias LED presentan como ventajas su bajo consumo energético, generan luz a través de un proceso más eficiente y presentan una mayor vida útil. Por estas razones se plantea utilizar este nuevo tipo de iluminación como una solución a los problemas que presentan las tecnologías ya existentes, siendo el tipo de iluminación más eficiente.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En la primera década del siglo XXI se estimaba que las lámparas LED estaban llamadas a ser la iluminación del futuro, esta tecnología es la más eficiente y también la más ecológica. No obstante, a mediados del 2012 se publicaron artículos y estudios que advertían de posibles

desventajas y afecciones a la salud por su uso, algunas de estas desventajas son: daño provocado a largo plazo en la retina del ojo debido a la luz azul necesaria para obtener algunas iluminaciones LED blancas (si la exposición era prolongada, repetida, y cercana), su irradiación unidireccional, su costo excesivamente elevado, emisión de armónicos a la red, entre otros.

Es por esta razón que esta propuesta de trabajo de grado pretende analizar y desvelar todos los parámetros luminotécnicos de la nueva tecnología LED ofrecida en el mercado, mediante un análisis completo de las especificaciones técnicas, tales como: vida útil, depreciación, potencia de consumo, espectro y flujo luminoso, entre otros, sobre este tipo de lámparas LED, tanto lineales como tipo bulbo, que actualmente están siendo el remplazo en los hogares, comercios y oficinas, de las tradicionales incandescentes, fluorescentes lineales y compactas.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Analizar los parámetros luminotécnicos de las nuevas lámparas LED.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Analizar mediante el montaje experimental los armónicos emitido por estas lámparas a la red.
- Analizar mediante el montaje experimental el consumo de potencia.
- Analizar mediante el montaje experimental la vida útil y la vida media de las lámparas en estudio.
- Analizar mediante el montaje la curva de depreciación del flujo luminoso de las lámparas en estudio.
- Comprobar los efectos del apagado en la vida útil de las lámparas en estudio.
- Comprobar el espectro luminoso de las lámparas.
- Realizar un análisis técnico-económico de las lámparas en estudio.

## **1.4 METODOLOGÍA**

La metodología a seguirse en este trabajo es de tipo combinada que integra la recolección de información en el campo, el análisis, comprobaciones, aplicaciones prácticas, dando resultado unas recomendaciones de aplicación práctica y que contribuyan a la solución del problema planteado.

## **1.5 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

El proyecto tiene énfasis en la verificación de la tecnología LED ofrecida en el mercado. Actualmente hay innumerables tipos de iluminación con esta tecnología en estudio, debido a la diversidad y a los elevados costos de estas lámparas, se efectúa un estudio por medio de dos (2) modelos de lámparas: dos (2) bombillos bulbo LED de 12W marca CLASSIC LUX, y dos (2) tubos LED de 9W marca IKATALED, las cuales fueron puestas en funcionamiento en el laboratorio 3 y 4 del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes.

## **1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Una de las limitantes que abarca este tipo de proyectos es el tiempo de estudio de estas lámparas, se vio afectado por los problemas de suministro de energía eléctrica que está atravesando el país, donde los estudios no fueron continuos. Debido a esta problemática se prolongó a 7 meses para lograr la adquisición de datos. La vida útil de las lámparas es de veintiocho mil (28.000) horas aproximadamente, lo que conforma una duración muy extensa para poder realizar una investigación experimental comparado con el periodo de tiempo dedicado al desarrollo de este trabajo de grado. Debido a los altos costos de esta tecnología LED, se contó con cuatro (4) lámparas, con las que se pretende satisfacer los objetivo pautados.

# CAPÍTULO 2

## MARCO TEÓRICO

La mayoría de las impresiones sensoriales humanas son de naturaleza óptica, dando gran importancia a la iluminación que se le dan a los espacios que habita el ser humano, ya que afecta directamente como el cerebro percibe la información. En la actualidad el alto costo de la energía junto con el daño a la salud que ocasionan la iluminación incandescente y fluorescente, hacen necesario el uso de una nueva alternativa. En este capítulo se definen conceptos básicos como la luz, las desventajas de las tecnologías anteriores, así como el principio de funcionamiento de la iluminación LED, su historia, características, tipos y ventajas.

### 2.1 LUZ

La luz puede ser estudiada como ondas o como partículas las cuales reciben el nombre de “fotones”, dependiendo del fenómeno en estudio se define la analogía a utilizar. En este trabajo se estudia la luz como una onda, las cuales se representan por un campo magnético y un campo eléctrico perpendiculares entre sí, que a su vez son perpendiculares a la dirección de la onda. Las ondas se definen a través de su longitud de onda, amplitud, periodo, frecuencia y velocidad de propagación [1].

La luz es la parte del espectro electromagnético a la cual responde la retina del ojo humano. Solo una pequeña porción del espectro total es visible, esta porción va desde rayos ultravioletas hasta rayos infrarrojos, no inclusive, el espectro de la luz visible se muestra en la figura 2.1. Las ondas de luz visible varían desde una longitud de onda de 380 nm (violeta) hasta 760 nm (rojo), esta brecha se le conoce como el espectro electromagnético de la luz [2]. La luz define la manera en la que se perciben los objetos, ya que dependiendo de cómo ésta se

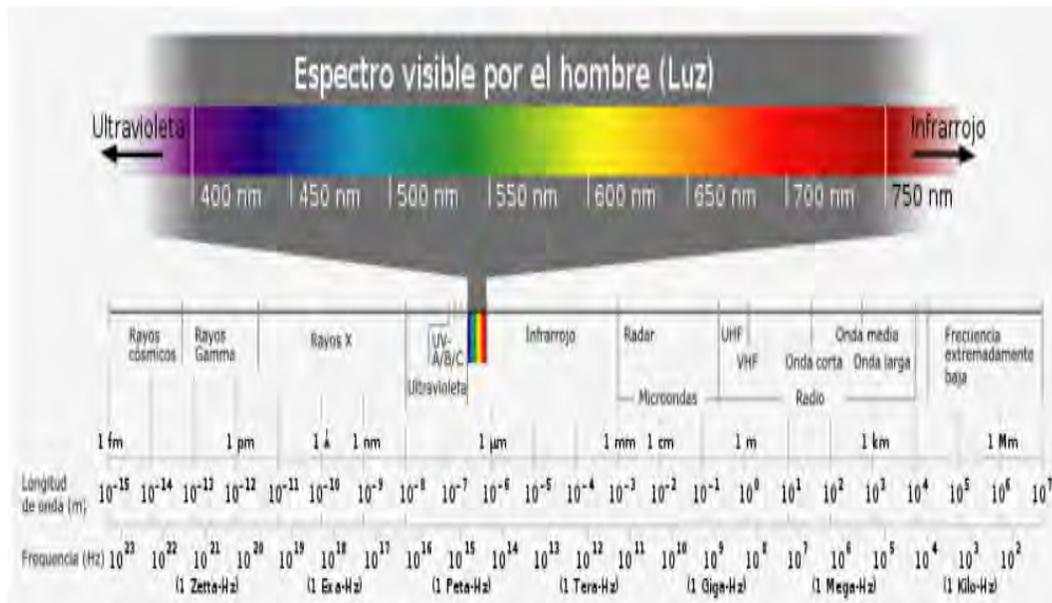


Figura 2.1. Espectro electromagnético de la luz visible [3].

refleja sobre ellos influye directamente en la formas y colores que ve el ojo.

### 2.1.1 Magnitudes fotométricas

Algunas de las definiciones necesarias en el estudio de la iluminación de presentan a continuación:

*Flujo luminoso:* es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa por unidad de tiempo, esta magnitud se expresa en “lumen” (lm) y su símbolo  $\Phi$  [4].

*Intensidad:* se define como la cantidad de flujo luminoso por unidad de ángulo sólido emitida por una fuente, la intensidad luminosa se expresa en “candelas” (cd). Esta magnitud fotométrica se utiliza como referencia para medir que tanto ilumina una fuente [4].

*Iluminación:* es la densidad de luz sobre una superficie dada, es decir el flujo luminoso por unidad de superficie. La iluminación se mide en Lux ( $lumen/m^2$ ) y se designa a través de la letra E definida en la ecuación 2.1 [4].

$$E = \frac{\Phi}{superficie} \quad (2.1)$$

*Luminancia:* se define como la intensidad luminosa emitida por una superficie luminosa o fuente de luz en una dirección dada, es decir expresa el efecto de la luminosidad que una superficie produce sobre el ojo humano. La luminancia se denota a través de la letra L y se mide en  $cd/m^2$  [4].

*Cantidad de luz:* denominada también energía luminosa, se define como la cantidad de energía que irradia una fuente luminosa, se utiliza para comparar la luz que emiten diferentes lámparas en un periodo de tiempo, se simboliza con la letra Q y se mide en lúmenes por hora (*lumen/hora*) [1].

*Eficacia:* es la relación que existe entre el flujo luminoso y la potencia, se define como la razón entre los lúmenes emitidos por cada unidad de potencia consumida, se denota con el símbolo  $\mu$  y se mide en lúmenes por vatio (*lumen/W*). El rendimiento ideal es de 680 *lumen/W* [4]. La eficacia mide la calidad de la fuente como un instrumento destinado a producir luz, midiendo la cantidad de energía eléctrica que es transformada en luz visible [1].

### 2.1.2 Visión de color

En el proceso de la visión se encuentran fundamentalmente cuatro elementos tales como: la luz, el objeto, un receptor (el ojo) y un decodificador (el cerebro). Los rayos de luz, que son reflejados por el objeto, estimulan a los receptores del ojo los cuales transmiten diversas señales al cerebro, donde estos producen la sensación de visión. El cerebro y el ojo se encargan de transformar la energía radiante en lo que se conoce como visión.

La luz es una energía electromagnética emitida dentro de la porción visible del espectro. El ojo es capaz de responder a las longitudes de onda de energía electromagnética en el rango entre la radiación ultravioleta y la infrarroja. Las variaciones son entre los 380 nm (nanómetros) a los 780 nm. La longitud de onda donde el ojo tiene su mejor respuesta es en la porción amarillo verdoso del espectro, es decir, en los 555 nm [5].

## 2.2 LÁMPARAS

Las lámparas son dispositivos que transforman la energía eléctrica o química en energía luminosa. La lámpara es el dispositivo que produce luz mientras que el aparato que soporta



**Figura 2.2. Lámpara incandescente con sus partes [6].**

la lámpara se le llama luminaria.

### **2.2.1 Lámparas incandescentes**

Las lámparas incandescentes se basan en un filamento de tungsteno de espiral simple o doble que con el paso de la corriente eléctrica se lleva hasta la incandescencia con el objetivo de que no se queme el filamento, éste está encerrado en un bulbo de vidrio donde se hace el vacío o se introduce un gas inerte (argón o criptón). Se hace un vacío en las lámparas pequeñas, y en lámparas de mediana y gran potencia se utiliza un gas inerte. Su vida media de operación a un voltaje nominal se estima alrededor de 1.000 horas, estas se fabrican en rangos de 25 a 1.000 watts, su mayor característica es de fácil utilización y sus bajos costos. Una de sus ventajas es el encendido inmediato sin necesidad de utilizar aparatos auxiliares, y sus desventajas es su baja eficiencia luminosa, y como consecuencia su costo de operación es relativamente alto, su vida media limitada, y la elevada producción de calor [4]. En la figura 2.2 se muestra una lámpara incandescente con sus partes.

### **2.2.2 Lámparas fluorescentes**

Las lámparas fluorescentes son consideradas como lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión. Consta de un tubo de descarga con un gas inerte (argón) y una mínima cantidad de mercurio en distintas formas, líquida y de vapor. En cada extremo se va alojando un electrodo generalmente de wolframio.



**Figura 2.3. Diferentes tipos de lámparas fluorescentes [8].**

El interior de la lámpara está cubierto por una mezcla de polvos fluorescentes, estos polvos convierten la radiación ultravioleta de la descarga de mercurio en otras longitudes de ondas más largas de manera visible. Según el tipo de luz deseada se usa un tipo de recubrimiento de fósforo, por lo que las lámparas fluorescentes tienen gran cantidad de aplicaciones distintas. Básicamente, se encuentran en el mercado fluorescentes en tres tonalidades básicas según su temperatura del color: blanco cálido, blanco frío o industrial y luz de día [7].

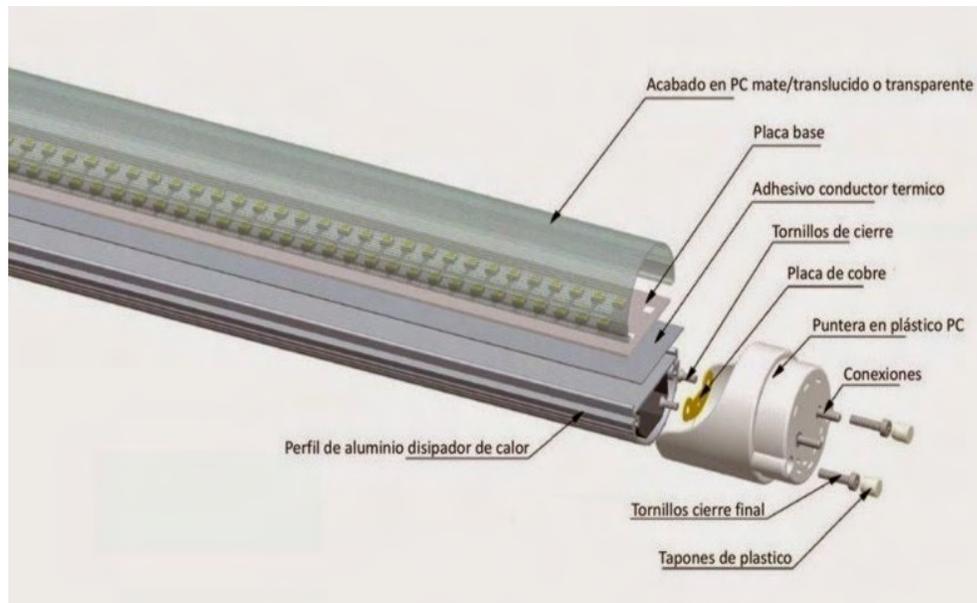
En la figura 2.3 se muestran las distintas formas en las que pueden encontrarse las lámparas fluorescentes.

### **2.2.3 Tubos LED**

Los tubos LED a diferencia de los fluorescentes convencionales no necesitan cebador ni reactancia, por lo tanto, su conexión es diferente. Los tubos LED tienen un ahorro energético del más del 50% y su potencia nominal, debido a que no tiene reactancia, el consumo baja considerablemente, la potencia consumida por este tipo de lámparas está entre 8 y 12 W menos de la mitad de los 36 W consumidos por un tubo fluorescente.

Los tubos LED tienen arranque instantáneo que no afecta a su vida media, tampoco necesitan de ningún gas para encenderse. Estos tubos pueden resistir mucho más las vibraciones y los golpes, se pueden desmontar y reparar, tiene una vida útil de más de 50.000 horas, a diferencia de las fluorescentes que su vida es de 10.000 horas [9].

*Clasificación de los tubos LED:* los tubos LED se clasifican de igual manera que los tubos fluorescentes con la letra T seguida de un número, que es el diámetro del tubo en octavos



**Figura 2.4. Partes de un tubo LED [10].**

de pulgada. Las medidas más comunes en este tipo de lámpara son:

- T5: tubo de 5/8 de pulgadas, 1,62 cm en unidades métricas diámetro.
- T8: tubo de 8/8 de pulgada, 2,5 cm de diámetro.
- T12: tubo de 12/8 de pulgada, 3,8 cm de diámetro [9].

En la figura 2.4 se muestran las partes que componen a un tubo LED.

#### 2.2.4 Lámparas LED

Un diodo emisor de luz LED es un dispositivo semiconductor con terminales llamados ánodo y cátodo, el cual al circular una corriente eléctrica se polariza de forma directa y como consecuencia emite luz. Un diodo es un elemento electrónico de gran duración y resistencia que, a diferencia de un bombillo incandescente, no tiene resistencia ni cristales que puedan romperse ni quemarse.

En la figura 2.5 se muestra un ejemplo de la lámpara LED.

En 1907 Henry Joseph Round descubre que al aplicar una corriente eléctrica sobre materiales inorgánicos estos se iluminan. Posteriormente, en 1921 en Rusia Oleg Loussew un físico observa el mismo efecto que Round estudiando este fenómeno más detalladamente. Años



**Figura 2.5. Lámpara LED [11].**

después en 1935, el francés Georges Destriau descubre que el sulfuro de zinc es capaz de emitir luz, que lo convierte en el inventor de la electroluminiscencia. Sin embargo, no es hasta 1962 que el primer diodo luminiscente creado por el estadounidense Nick Holonyak es lanzado en el mercado, este primer diodo solo era capaz de emitir luz roja. En 1971 se logran utilizar nuevos materiales para la construcción de diodos que permiten la emisión de luz en colores como verde, naranja y amarillo. En 1993 Shuji Nakamura presenta un primer LED con luz azul brillante además de un LED muy eficiente en la gama de verdes, este mismo científico desarrolla en 1995 el primer LED de luz blanca. Once años después se crea un LED más eficiente capaz de emitir 100 lm por vatio. En la actualidad esta tecnología se ha convertido en la favorita para la iluminación de ambientes, presentando una eficacia luminosa de 250 lm por vatio [12].

La lámpara LED basa su funcionamiento en uno de los principios eléctricos más conocidos, cuando un electrón pasa de la capa de conducción a la de valencia tiene una pérdida de energía, la cual puede manifestarse en forma de calor o luz dependiendo del material del semiconductor. En los diodos emisores de luz se utilizan materiales que permiten que esta energía tome la forma de un fotón con una amplitud, dirección y fase aleatoria. Los LED son diodos de unión P-N, es decir formados por la unión de metalúrgica de dos cristales de tipo P y N, en los LED este material es generalmente de arseniuro de galio-aluminio, (positivos y negativos). En la unión de las materias se forma una barrera potencial, la cual impide el paso de electrones cuando la corriente circula en dirección del cátodo al ánodo. Cuando el diodo se polariza de forma correcta los electrones adquieren suficiente energía para traspasar la barrera llenando un hueco positivo en la región P, al realizar esta acción el electrón regresa a la capa de valencia perdiendo energía que se transforma en luz visible [1].

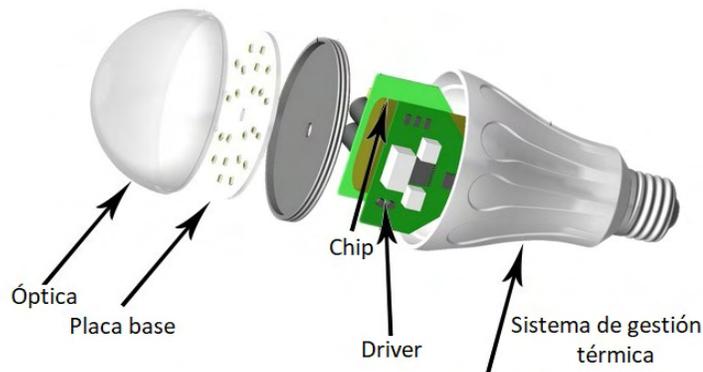


Figura 2.6. Partes de una lámpara LED [13].

## 2.3 COMPONENTES DE LAS LÁMPARAS LED

Una lámpara LED está compuesta por varias partes. En la figura 2.6 se muestran las partes de una lámpara LED las cuales serán descritas a continuación.

### 2.3.1 Chip

El chip de una lámpara LED es una pieza fabricada de un material semiconductor (normalmente de cristales de silicio o galio) de unos 5 milímetros de grosor, que al aplicar una corriente eléctrica es capaz de generar luz. Sobre esta base de silicio se depositan capas de diferentes materiales como el fósforo, cuya mezcla es la que da el color y la calidad de la luz. El chip es el verdadero corazón de una lámpara LED. Usualmente se protege del exterior mediante una carcasa de resina o policarbonato semirrígida [1].

### 2.3.2 El *driver*

Las lámparas basadas en la tecnología LED a diferencia de la tecnología incandescente no se conectan directamente a la corriente, sino que requieren de una fuente de alimentación previa o convertidor de tensión, esto hace que la energía eléctrica de un LED sea aprovechada dependiendo también en gran medida de este convertidor. Una fuente de alimentación apropiada influye en la eficiencia y la estabilidad de esta tecnología.

El real aprovechamiento de la energía eléctrica que es consumida se mide a través del valor del factor de potencia. Si el valor es igual a 1 significa que toda la electricidad que llega a

la fuente de alimentación ha sido aprovechada. Si es de 0,5 quiere decir que se ha perdido la mitad de energía eléctrica en la conversión. Usualmente de un driver de calidad se espera a que el valor sea superior a 0,9 [1].

### 2.3.3 Placa Base

La placa base es la encargada de soportar las conexiones de los demás componentes electrónicos de la lámpara, como las conexiones del chip, normalmente mediante hilos de oro y las vías de disipación del calor. Está constituida por una placa de circuito impreso o PCB (del inglés *Printed Circuit Board*). Dependiendo del tipo de gestión térmica puede componerse de distintas capas y materiales, principalmente de aluminio y cobre, además de otros materiales conductores [1].

### 2.3.4 Sistema de gestión térmica

Una de las claves para la duración y buen funcionamiento de una lámpara LED es la disipación de calor. Es importante explicar que los LED no emiten calor, pero eso no significa que no lo genere, es decir, el calor al contrario que un foco incandescente, sale en la dirección contraria a la luz, lo que afecta la duración y el funcionamiento de la lámpara LED. Por este motivo es necesario disipar ese calor, ya que hasta el 70 % de la energía puede llegar a perderse.

Una buena disipación del calor alargará la vida del chip. Los disipadores de calor son fabricados de materiales como el aluminio, el cobre y la cerámica. El calor también puede afectar al color y a la calidad de la luz, de ahí la importancia de una correcta disipación [1].

### 2.3.5 La óptica

El lente óptico afecta de manera importante a las lámparas LED, y está compuesta por un conjunto de lentes que determinan la distribución de la luz emitida, por el LED. Los lentes pueden variar en forma y composición en función de las necesidades de distribución de la luz que requiera la luminaria. Según la forma del lente el haz de luz puede converger o divergir, el ángulo de luz puede ser grande o pequeño dependiendo del lente óptico que utilice la lámpara LED [1].

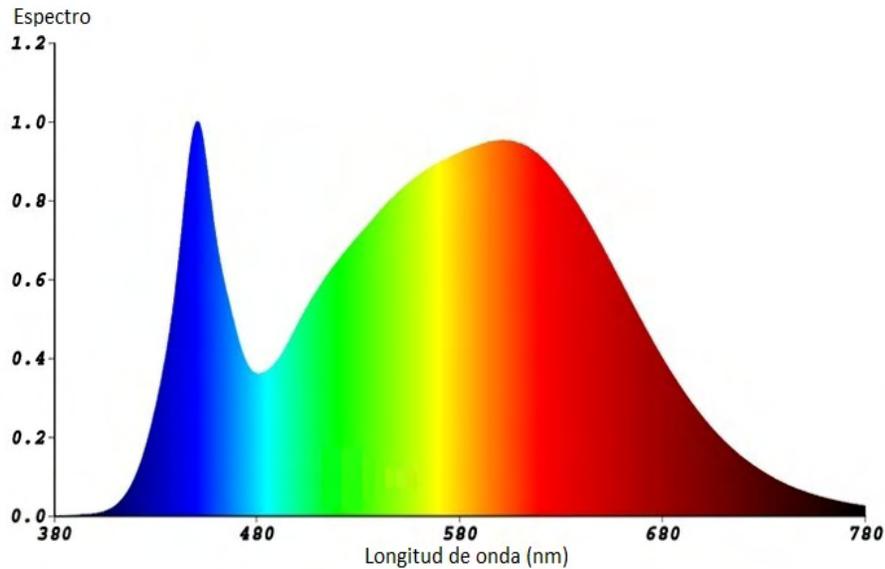


Figura 2.7. Característica cromáticas de una lámpara LED [14].

## 2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS LÁMPARAS LED

Las características principales de las lámparas LED serán descritas a continuación:

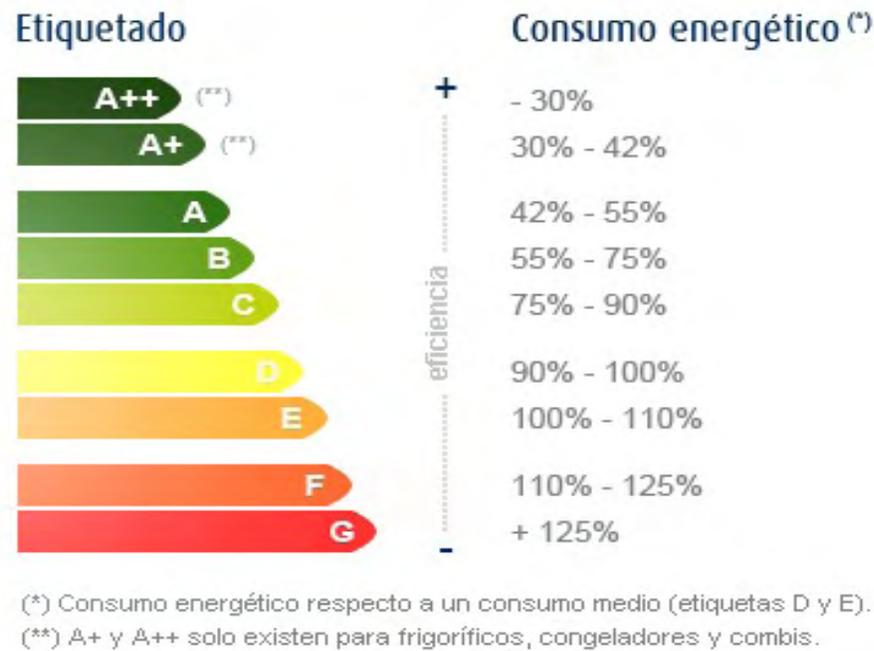
### 2.4.1 Características cromáticas

El IRC (Índice de Reproducción Cromática) es una unidad que se utiliza en relación a una fuente de luz para medir su capacidad de reproducir los colores de un objeto de manera real, se toma como referencia la iluminación natural. A mayor número en el IRC, mejor reproducción de color. Sus valores son desde 0 a 100, donde el número 100 es el valor perfecto, para llegar a este resultado hay que tomar en cuenta que no siempre se tiene la luz del sol como referencia [15].

En la figura 2.7 se muestra el espectro en función de la longitud de una de una lámpara LED.

### 2.4.2 Eficacia

La principal característica que tiene los dispositivos LED es su eficiencia, que viene definida bajo el concepto de rendimiento lumínico. En el año 1996 se comercializan por primera vez los LED de luz blanca como dispositivos luminosos, donde han tenido una evolución rápida sobre su rendimiento, pasando de 5 lm/w en sus inicios a los 150 lm/w de hoy en día, donde



**Figura 2.8. Eficacia de una lámpara LED [16].**

se espera que con el tiempo llegue a los 260 lm/w [1].

En la figura 2.8 se muestra el consumo energético de las lámparas LED.

### 2.4.3 Potencia

Debido al crecimiento que ha tenido esta tecnología en las últimas décadas hoy en día existen lámparas LED con una potencia nominal de 200 W [1]. En la figura 2.9 se muestra una comparación de la potencia consumida por un bombillo LED para generar la misma iluminación que un bombillo convencional con una determinada potencia.

### 2.4.4 Vida media

Las lámparas LED en condiciones ideales pueden llegar a durar hasta 100.000 horas. El exceso de corriente, humedad, y temperatura acorta la vida útil de estas lámparas, es por esto que, en condiciones reales su vida útil se reduce considerablemente, entre 30.000 y 50.000 horas si estas tienen un buen diseño.

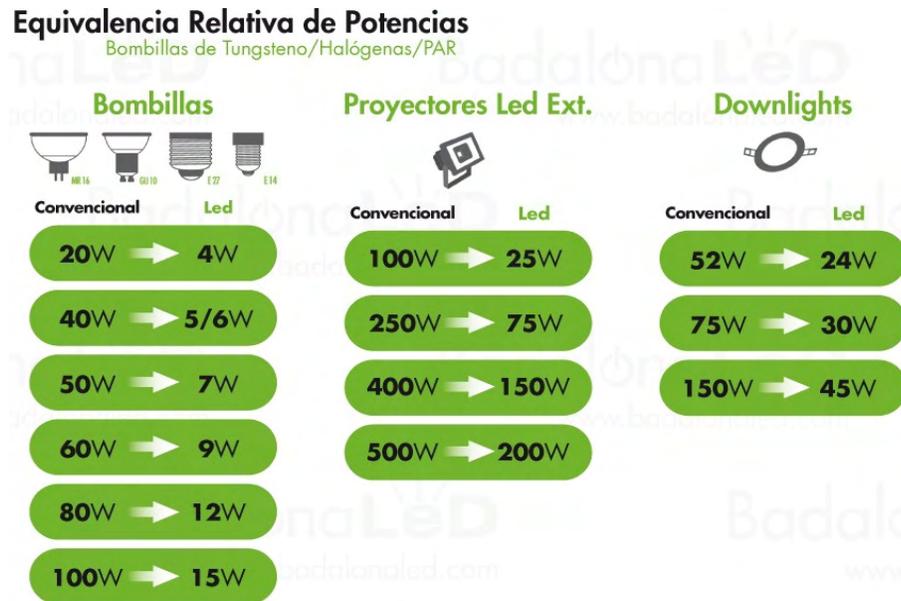


Figura 2.9. Equivalencia relativa de las potencias consumido por un LED y Lámparas convencionales [17].

#### 2.4.5 Condiciones de servicio

Las lámparas LED se alimentan generalmente a 24 V y con corriente continua, para lograr esto las lámparas tienen incorporado un circuito que transforma la corriente alterna a continua. Las lámparas LED están diseñados para trabajar en temperaturas por debajo de los 65°C [1].

#### 2.4.6 Depreciación del flujo luminoso

Para medir la depreciación del flujo luminoso bajo condiciones de funcionamiento normales se realizan pruebas con un LED y la salida de flujo luminoso del mismo, para esto se mide el flujo luminoso en un periodo de tiempo generalmente en horas. Esta medición se compara entonces con la salida inicial de la lámpara y la depreciación de la salida de flujo luminoso calculada.

Esto se representa a través de una curva que muestra la cantidad de flujo luminoso que hay en la salida, expresado como un porcentaje del flujo inicial, en el periodo de tiempo de funcionamiento que se haya seleccionado.

En la figura 2.10 se muestra una curva ejemplo de la depreciación de una lámpara LED en función de su tiempo de uso en horas.

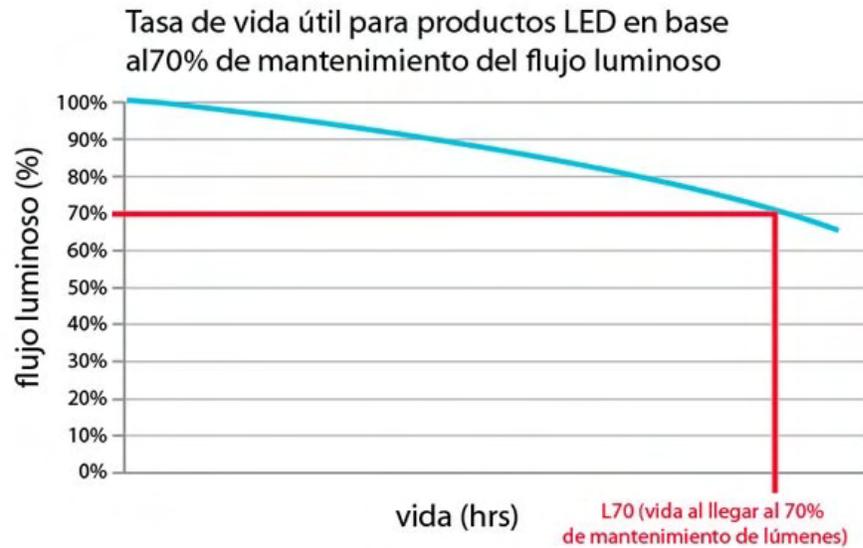


Figura 2.10. Ejemplo de la depreciación del flujo luminoso en una lámpara LED [18].

## 2.5 TIPOLOGÍA DE LAS LÁMPARAS LED

En la figura 2.11 se muestran los tipos de lámparas LED, los cuales se describen a continuación:

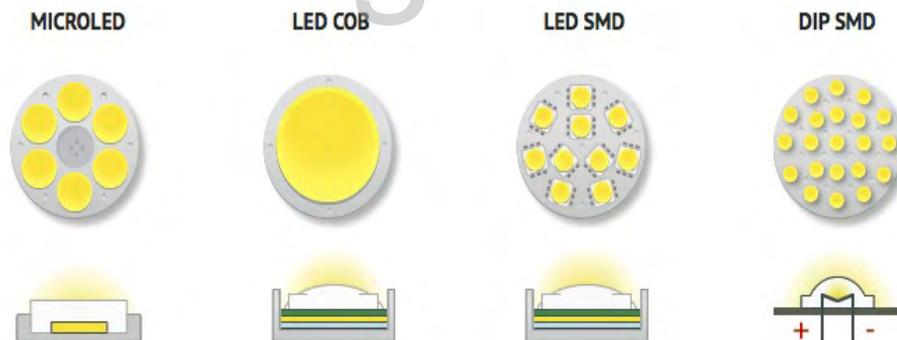


Figura 2.11. Tipos de lámparas LED [19],

### 2.5.1 LED DIP

Este tipo de LED es llamativo ya que son la primera generación de la iluminación de esta tecnología, es de forma coloidal y se pueden encontrar fácilmente en diferentes colores, tamaños y formas, son los más baratos, muy duraderos (unas 100.000 horas) y no generan tanto calor por lo que no necesitan disipadores, pero su gran desventaja es su pérdida de

intensidad con el tiempo de uso, su eficacia es de 60 a 70 lm/W. Se usan en la actualidad para indicadores [1]. En la figura 2.12 se muestra un LED de tipo DIP.



**Figura 2.12. LED DIP [20].**

### 2.5.2 LED SMD

El LED SMD (del inglés *Surface Mounted Device*) es el tipo de LED más común en el mercado. El chip LED está permanentemente fusionado a una placa de circuito impreso PCB, es un chip que tiene gran versatilidad por eso es muy popular en el mercado.

Los chips LED SMD existen de diferentes dimensiones y modelos, estos modelos son elaborados por distintos fabricantes tales como: Osram, Kohm, Lumileds. Pueden ser acomodados con diseños complicados, como el modelo 5050 que es de 5mm de ancho, y el 3528 que tiene 3,5mm de ancho, sin dejar a un lado los otros modelos que también son comunes como el 3028 y 5630. Los chips LED SMD son pequeños, casi como el diseño del chip de la computadora: plano y cuadrado.

Una de las características más notable de los chips LED SMD es el número de contactos y diodos que tienen y se pueden incluir un diodo rojo, verde y azul. Con estos tres diodos, ya puede crear prácticamente cualquier color simplemente ajustando el nivel de salida, tiene una eficacia de 70 a 95 lm/W.

Los chips LED SMD pueden tener más de dos contactos (lo que lo hace diferente del clásico LED DIP). Puede haber hasta 3 diodos en un solo chip, teniendo cada diodo un circuito individual. Cada circuito tendría un cátodo y un ánodo, dando lugar a 2, 4 o 6 contactos en un chip [1].

### 2.5.3 LED COB

El LED COB (del inglés, *Chip On Board*) es uno de los desarrollos más recientes en tecnología LED. Estos chips tienen múltiples diodos en un mismo encapsulado, tienen 9 o más diodos, también tienen 1 circuito y 2 contactos, independientemente del número de diodos, no se pueden utilizar para crear bombillas o luces que cambien de color porque lleva solo 2 contactos y 1 circuito, es famoso por la mejor relación lumen por vatio y eficiencia de calor. Esto tiene mucho que ver con su diseño y el substrato cerámico de refrigeración de los chips. Tiene una eficacia de 90 a 110 lm/W [1].

### 2.5.4 LED MCOB

El LED MCOB (del inglés *Multi Chip On Board*) es la cuarta y última generación de LED, básicamente tiene varios COB, esta configuración permite que la luz sea más brillante y focalizada, sin generar el calor que produce las otras tecnologías LED, los números de Lumen e IRC son altos mientras que su potencia sigue siendo baja. Tiene una eficacia de 100 a 140 Lm/W y una vida útil de 35.000 horas [1].

## 2.6 ARMÓNICOS

Los armónicos de una señal eléctrica son aquellas componentes múltiples de la frecuencia fundamental que se encuentran en la señal al descomponerla en su serie de Fourier. En la red eléctrica las señales son sinusoidales y tiene como característica la presencia de simetría, esta característica anula los armónicos de rango par.

Los armónicos se añaden a la red cuando la señal pasa a través de cargas no lineales, es decir que modifican la naturaleza de la misma, este efecto deteriora el factor de potencia de la red y agrega distorsión a la onda lo cual afecta directamente a los usuarios.

Como se dijo anteriormente las lámparas LED utilizan corriente continua, al modificar la naturaleza de la señal de la red, que en el caso de Venezuela posee 60 Hz y una amplitud de 120 V, a una señal continua se agregan armónicos al sistema eléctrico [21].

## 2.7 APLICACIONES DE LAS LÁMPARAS LED

El uso de las lámparas LED están sustituyendo a las lámparas incandescentes y las lámparas fluorescentes, porque es mejor en numerosos aspectos. En la actualidad la aplicación de estas lámparas está centrada al uso residencial, tanto para una buena iluminación como para la decoración, también son muy comunes en la iluminación de edificios sea en pasillos o ascensores, en alumbrado de exteriores donde tiene un buen rendimiento, ya que pueden soportar mejor las condiciones ambientales que las otras tecnologías. En el mundo del espectáculo la iluminación LED ha adquirido relevancia permitiendo a los espectadores tener mejores experiencias visuales [1].

Gracias a su bajo consumo eléctrico este tipo de lámparas se utilizan en linternas, luces para vehículos, teléfonos e incluso pantallas.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

# CAPÍTULO 3

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Este desarrollo experimental presenta una serie de medidas realizadas a cuatro (4) lámparas LED, dos (2) bombillos de tipo BULBO LED de 12W marca CLASSIC LUX, y dos (2) TUBOS LED marca IKATALED de 9W. Estas medidas tienen como finalidad de analizar, y verificar varios parámetros luminotécnicos importantes en la investigación como son: armónicos de la red, espectro luminoso, potencia activa y reactiva consumida, comprobación de la vida útil y vida media, depreciación del flujo luminoso, curvas de distribución de la intensidad luminosa.

### 3.1 TIPOS DE LÁMPARAS UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO

Dado que comercialmente hay una gran variedad de lámparas con tecnología LED ofertadas para la iluminación de interiores, se tomaron en cuenta una pequeña muestra de las cuales se presentan a continuación:

- **Lámpara LED BULB CLASSIC LUX 12W 85-255 V:** Lámpara de luz blanca azulada, con alto rendimiento luminoso de 1080 lumens, posee una temperatura de color de 6500K, y tiene una equivalencia de 120 W de una bombilla incandescente. Su uso cambia de acuerdo a la necesidad del consumidor, en hoteles, hogares, oficina, locales comerciales, para lámparas, embutidos, plafones, es un producto multiuso. En la figura 3.1 se puede apreciar este modelo de lámpara.
- **Lámpara TUBO LED T8 IKATALED 9W 100-240 V:** Lámpara de luz blanca azulada, con una eficacia lumínica de 90 Lm/w, un tiempo de vida útil de 30.000 horas, posee una temperatura de color de 6500k. Sus aplicaciones pueden ser: en hoteles, supermercados, oficinas, bibliotecas, locales comerciales, es un producto con varias

utilidades. En la figura 3.2 se puede apreciar el modelo de esta lámpara [22].



**Figura 3.1. Lámpara LED BULB CLASSIC LUX 12 W.**



**Figura 3.2. Lámpara TUBO T8 LED IKATALED 9W.**

A continuación, se observa una tabla con las características de cada lámpara descritas por el fabricante. Es necesario destacar que de cada tipo se tiene dos lámparas que se analizarán en situaciones específicas.

**Tabla 3.1. Datos del fabricante de cada una de las lámparas estudiadas.**

| LAMPARAS LED             |                      |                      |
|--------------------------|----------------------|----------------------|
| Fabricante               | LED BULB CLASSIC LUX | TUBO LED T8 IKATALED |
| Voltaje (V)              | 85-255               | 100-240              |
| Potencia (W)             | 12                   | 9                    |
| Eficacia Luminosa (lm/w) | 90                   | 90                   |
| Flujo luminoso (lm)      | 1.080                | 1.080                |
| Temperatura de color (K) | 6.500                | 6.500                |
| Vida útil (Hrs)          | 25.000               | 30.000               |

### 3.2 ANÁLISIS MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL DE LOS ARMÓNICOS EMITIDOS POR CADA UNA DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO A LA RED.

En la actualidad las redes de baja tensión tienen una malformación de la corriente eléctrica que llegan a las zonas residenciales, e industriales. Esta malformación es llamada comúnmente distorsión armónica. Es originada por equipos electrónicos que consumen energía eléctrica de una forma no continua en el tiempo, es decir, no lineal. Esta distorsión tiene la capacidad de consumir electricidad, provocando que la forma de onda sinusoidal de la corriente se distorsione completamente, y así logrando descomponerla en diferentes componentes, lo que se conoce como armónicos. La mayor o menor presencia de armónicos se mide con una magnitud conocida como THD (Tasa de Distorsión Armónica).

Para lograr las medidas de los armónicos emitidos por cada una de las lámparas en estudio a la red, se utilizó los siguientes instrumentos:

- Red eléctrica 120 V.
- Lámparas LED.
- Bases para los bulbos LED.
- Bases de madera para los tubos LED.
- Socates.
- Osciloscopios.

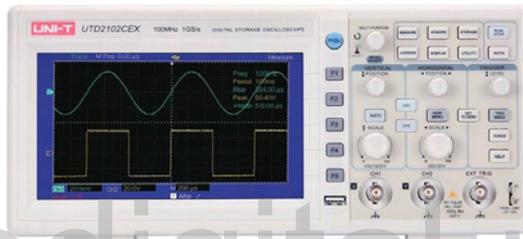
Para esta experiencia se utilizaron dos tipos de osciloscopios digitales, se procedió a un montaje para poder aislar y proteger los osciloscopios y así evitar cualquier tipo de daños a este equipo.

El primer osciloscopio es marca TEKTRONIX modelo TDS 1002 como se muestra en la figura 3.3. Con un ancho de banda de 60MHz, con dos canales, una frecuencia de muestreo de 1 GS/s, y una longitud de registro de 2.500 puntos por canal.



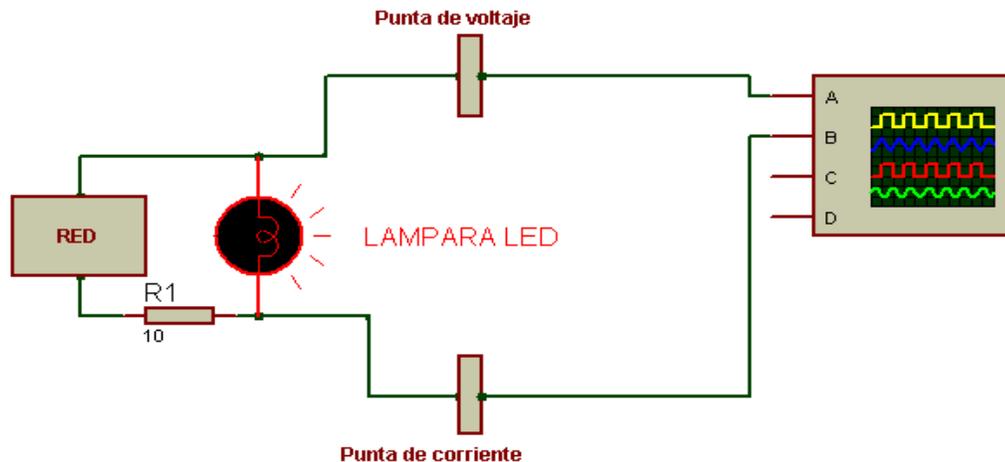
**Figura 3.3. Osciloscopio TEKTRONIX TDS1002.**

El segundo osciloscopio es de marca UNIT-T modelo UTD2102CEX como se muestra en la figura 3.4. Tiene dos canales con ancho de la banda 100 MHz, frecuencia de muestreo 1 GS/s, 5 funciones matemáticas: adición, sustracción, multiplicación, división, FFT, Pantalla LCD a color de diagonal 7”.



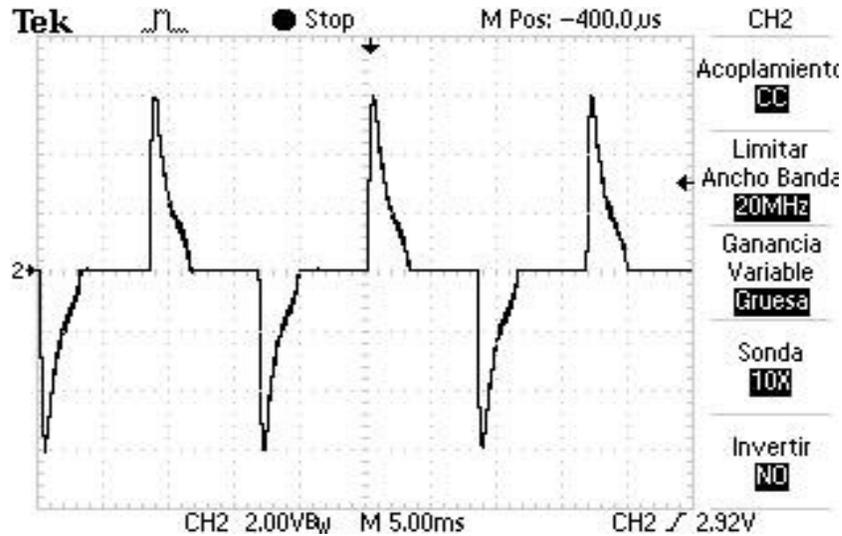
**Figura 3.4. Osciloscopio UNIT-T modelo UTD2102CEX.**

A continuación, en el laboratorio se utilizaron todos los instrumentos ya mencionados, para poder obtener los registros para la distorsión armónica, el voltaje, y la caída de tensión en la resistencia de cada tipo de lámpara que se está estudiando. El esquema de conexiones de la experiencia se muestra en la figura 3.5.



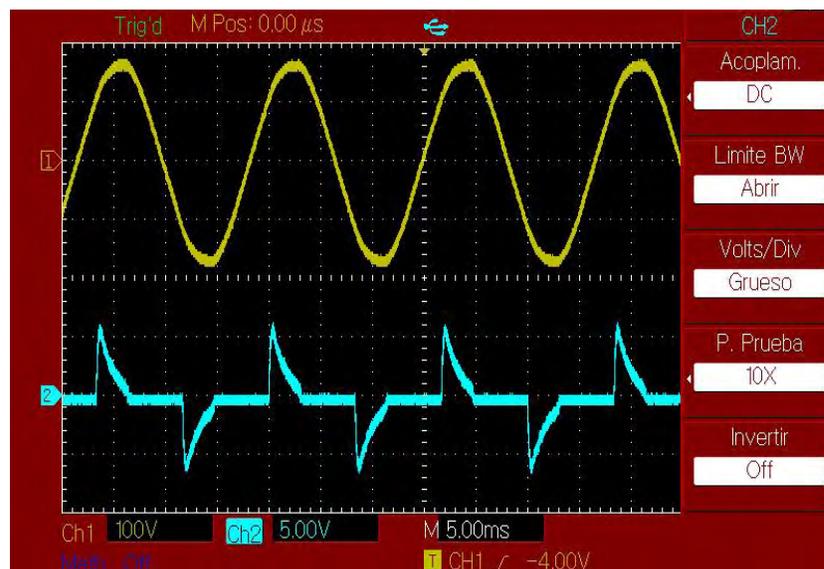
**Figura 3.5. Circuito empleado para medir los armónicos de las lámparas en estudio.**

Una vez montado el circuito de la figura 3.5, se procedió a apreciar las gráficas donde se logra observar las ondas arrojadas de voltaje y la caída de tensión en la resistencia (corriente) de las lámparas LED mediante el osciloscopio.



**Figura 3.6.** Caída de tensión respecto a la resistencia del BULBO LED con osciloscopio TEKTRONIX.

En la figura 3.6 muestra la señal de corriente que arroja la lampara LED tipo bulbo tomada con el osciloscopio TEKTRONIX. En la figura 3.7 fue tomada con el osciloscopio UNIT-T donde se observa dos señales por separado, en el canal uno (color amarillo) corresponde a la señal de voltaje, y en el canal dos (color azul) corresponde a la señal de corriente.



**Figura 3.7.** Señales de voltaje y corriente del BULBO LED con osciloscopio UNIT-T.

A continuación en las figuras 3.8 y 3.9 se muestran las señales superpuestas tanto de voltaje como de corriente vista desde diferentes osciloscopios.

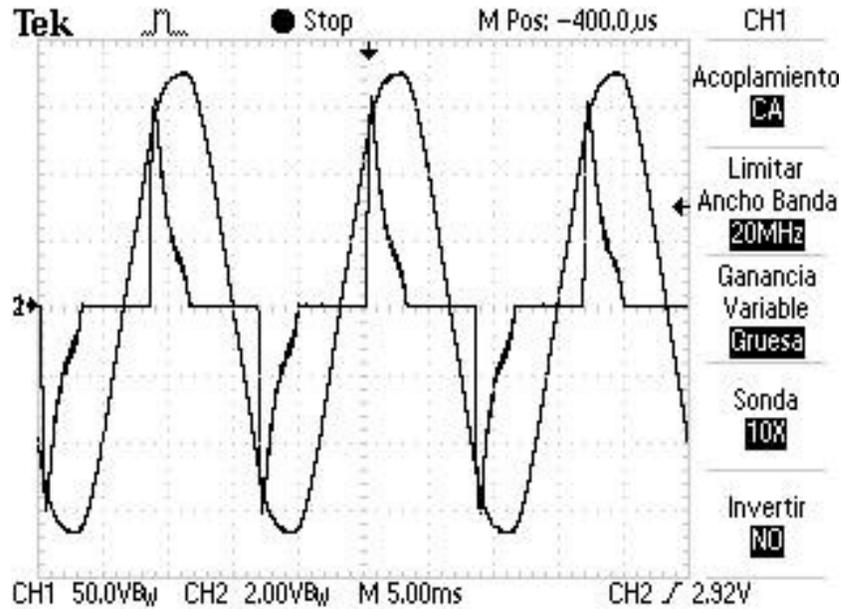


Figura 3.8. Señales de voltaje y corriente superpuesta del BULBO LED con osciloscopio TEKTRONIX.

Al disminuir la tensión aplicada es muy interesante observar la evolución de la onda de corriente absorbida por la lámpara. Fijando más atención en la onda de corriente, donde se logra ver un pico más pronunciado y una mayor rampa de subida del valor instantáneo de la corriente.

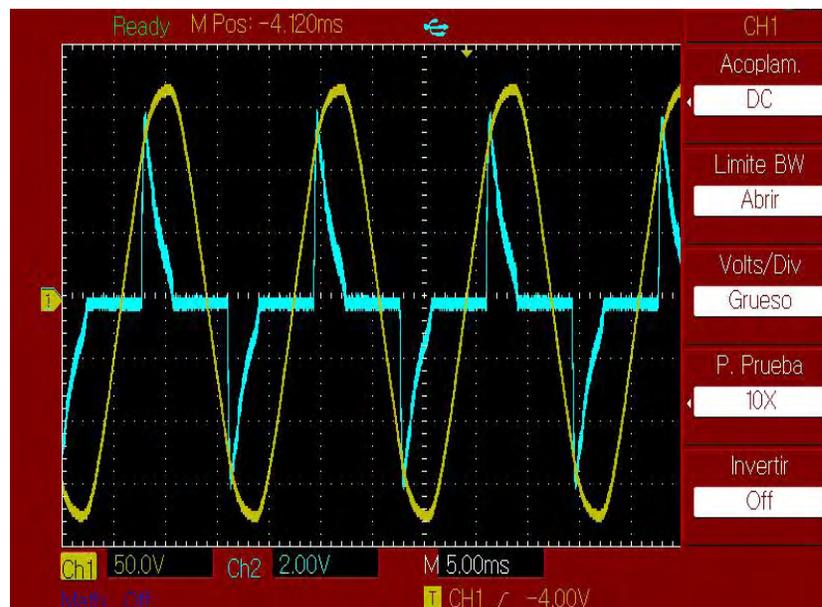
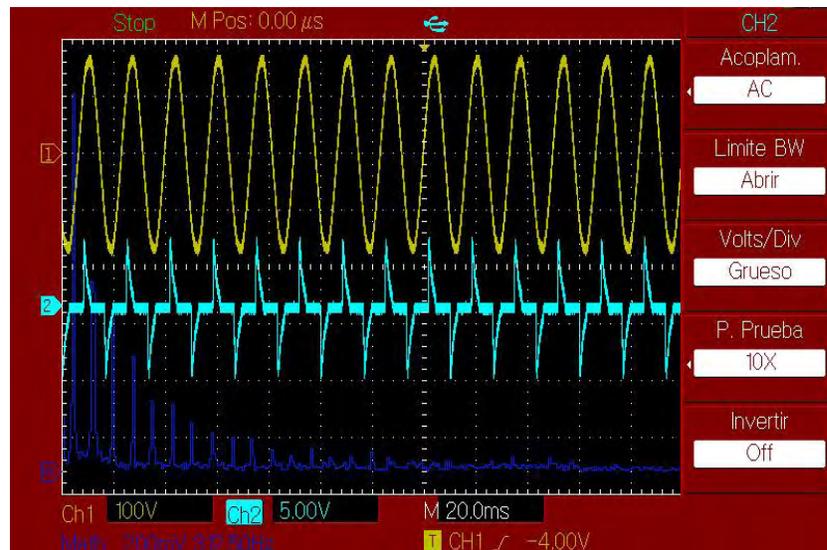


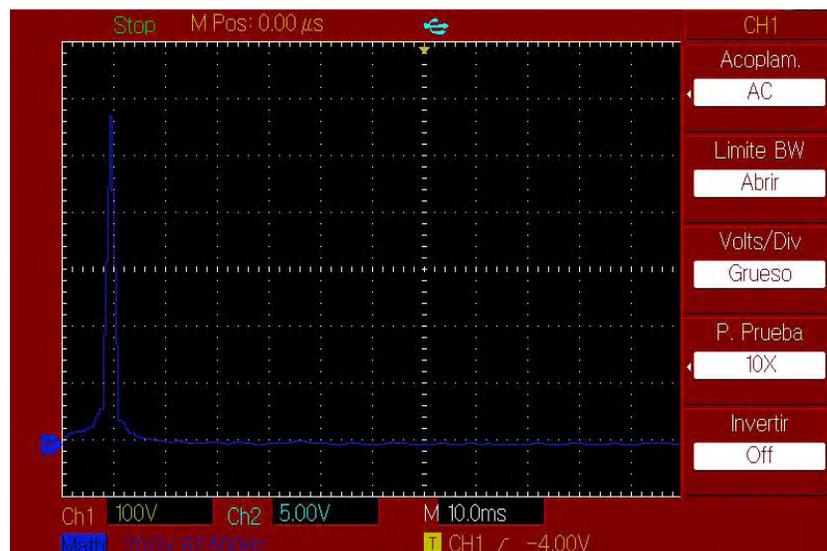
Figura 3.9. Señales de voltaje y corriente superpuesta del BULBO LED con osciloscopio UNIT-T.

En la siguiente figura 3.10 aplicando una de las funciones que contiene el osciloscopio UNIT-T, se aplicó la transformada de Fourier a la señal de corriente, y como consecuencia se puede observar las tres señales arrojadas voltaje, corriente, y el espectro de corriente.



**Figura 3.10.** Señales de voltaje y corriente y espectro armónico de la corriente del BULBO LED con el osciloscopio UNIT-T.

En las próximas figuras se muestran los espectros de los armónicos de la lámpara LED tipo bulbo arrojadas por las señales de la red y la caída de tensión desde la resistencia. En la (fig. 3.11) está el espectro del armónico de la señal de voltaje, la (fig. 3.12) es el espectro del armónico de corriente, y en la (fig. 3.13) se hace un zoom a la imagen del osciloscopio para ver de manera más detallada el 3er, 5to, 7mo armónico.



**Figura 3.11.** Espectro armónico de voltaje del BULBO LED observado en la pantalla del osciloscopio UNIT-T.

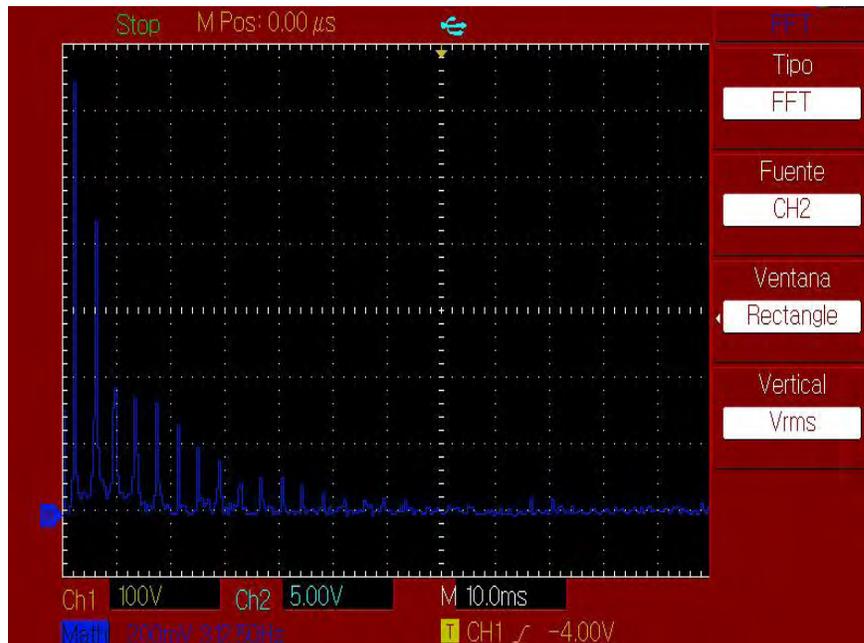


Figura 3.12. Espectro armónico de corriente del BULBO LED observado en la pantalla del osciloscopio UNIT-T.

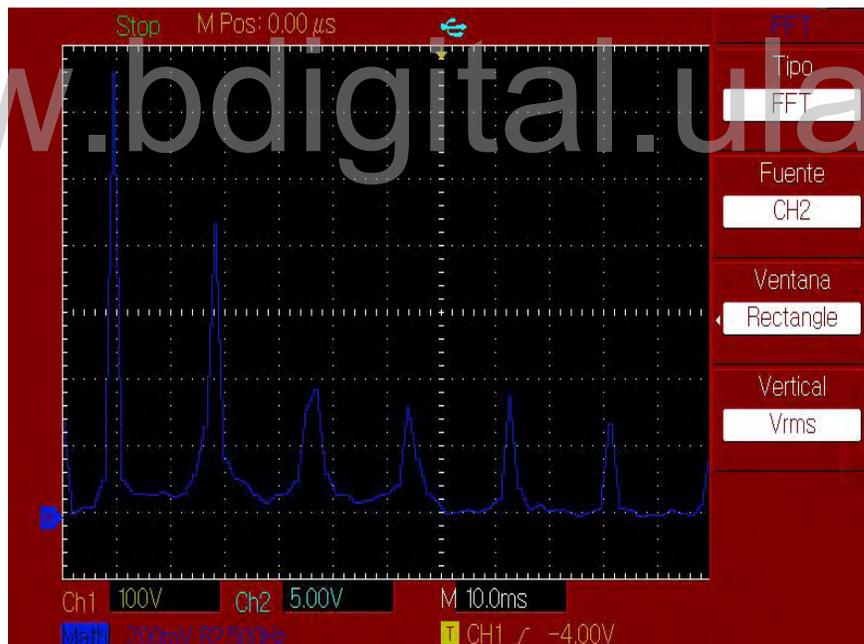


Figura 3.13. Zoom del espectro armónico de corriente del BULBO LED observado en la pantalla del osciloscopio UNIT-T.

A continuación, para la lámpara LED tipo TUBO se procedió a medir las señales con los osciloscopios TEKTRONIX y UNIT-T, donde se observa las señales sobrepuestas del voltaje de la red canal uno (color amarillo) y la caída de tensión en la resistencia que es el canal dos (color azul).

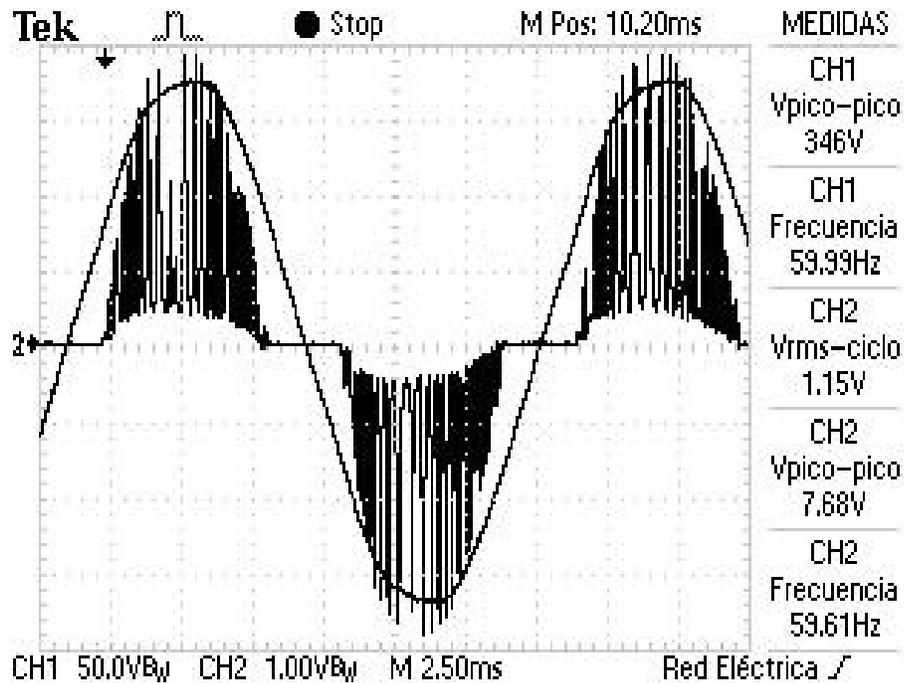


Figura 3.14. Señales de voltaje y corriente superpuestas del TUBO LED con osciloscopio TEKTRONIX.

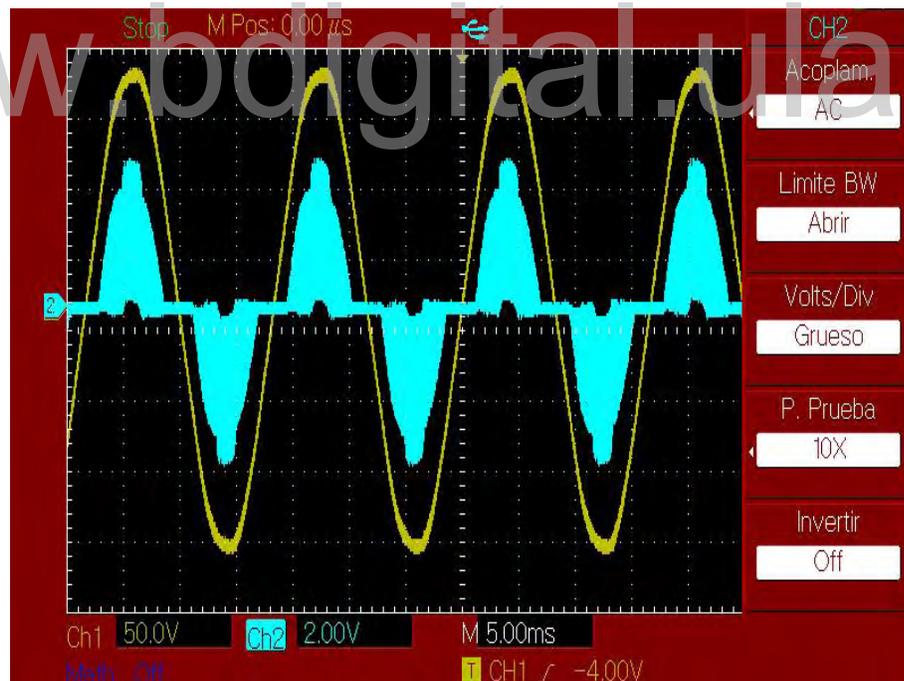


Figura 3.15. Señales de voltaje y corriente superpuestas del TUBO LED con osciloscopio UNIT-T.

La figura 3.16 es un zoom del oscilograma desde comienzo de la señal de corriente y se observa que arroja bastantes armónicos, esta señal fue medida con el osciloscopio TEKTRONIX ya que en la pantalla se puede detallar el espectro de esta señal.

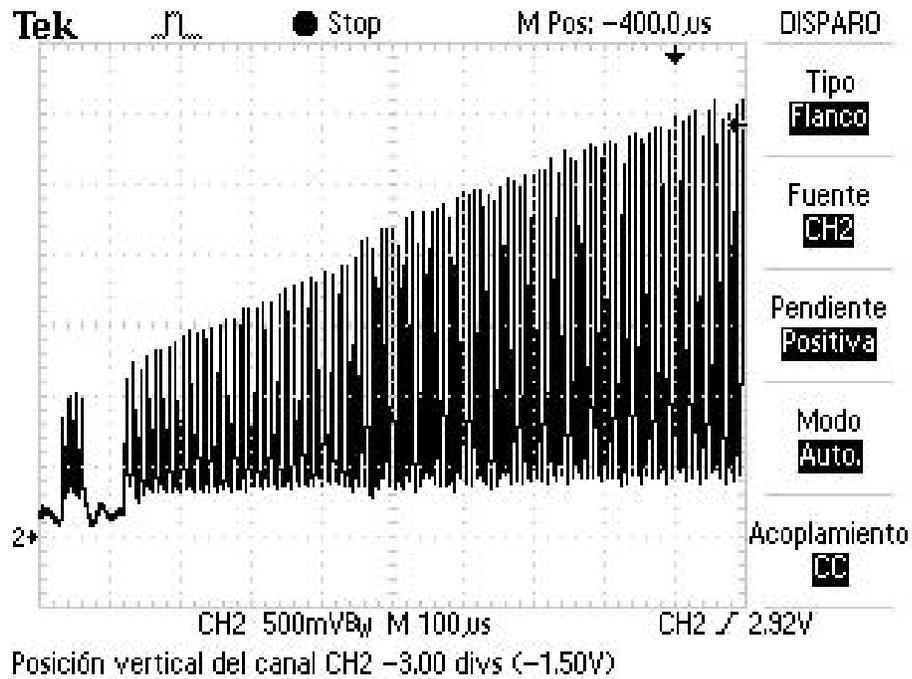


Figura 3.16. Zoom comienzo de la señal de corriente TUBO LED en pantalla del osciloscopio TEKTRONIX.

En la figura 3.17 se muestra el espectro armónico de corriente, y al igual que el caso del BULBO LED en la fig. 3.18 se procedió a realizar zoom a la imagen para poder observar detalladamente el 3er, y 5to armónico.

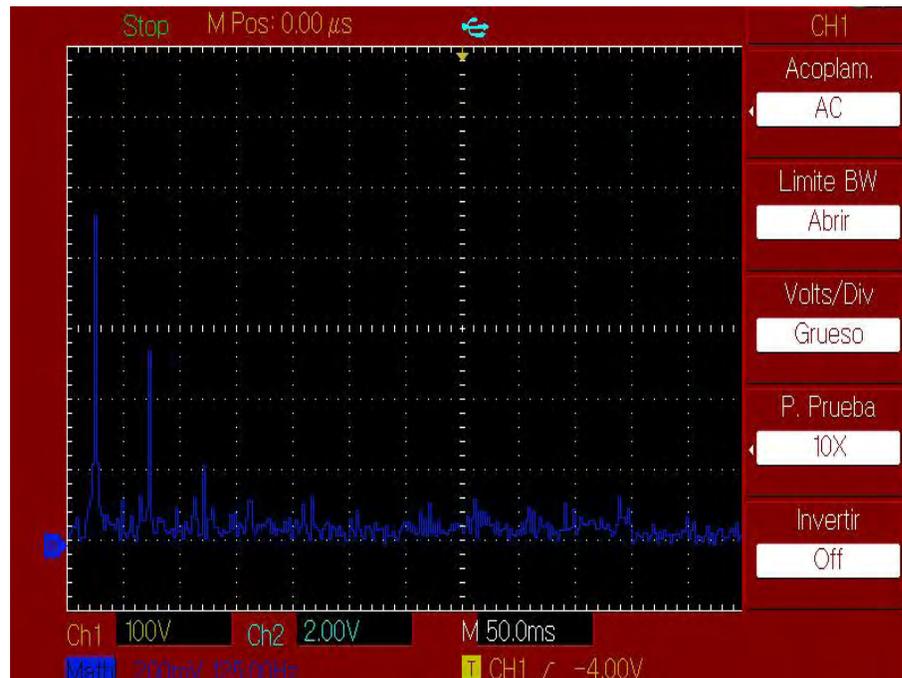
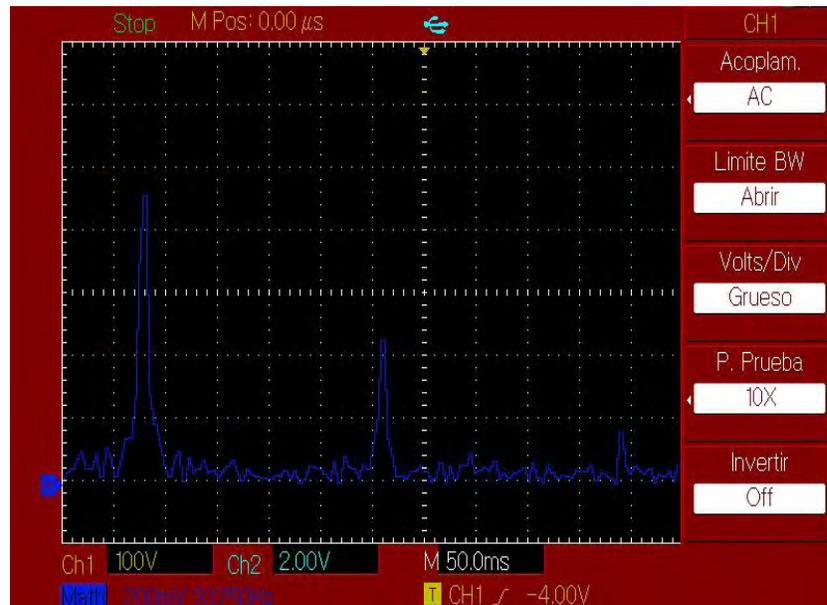


Figura 3.17. Espectro armónico de corriente del TUBO LED observado en la pantalla del osciloscopio UNIT-T.



**Figura 3.18. Zoom del espectro armónico de corriente del TUBO LED observado en la pantalla del osciloscopio UNIT-T.**

De acuerdo a las figuras anteriores, se muestra mediante los osciloscopios que la forma de onda de la tensión de las lámparas LED que están en estudio es aproximadamente sinusoidal pura, mientras que las corrientes tienen una forma de onda que dista mucho de una función sinusoidal.

En los espectros de corriente de cada tipo de lámpara se evidencia el elevado contenido de componentes armónicos, donde se hace un comparativo de las señales de corriente para cada tipo de lámpara, tal como se muestra en las figuras 3.9 y 3.15.

Se logra ver que existen diferencias sustanciales en la distribución espectral. En primer lugar, los TUBOS LED (IKATALED), utiliza diferentes métodos de filtración para reducir los armónicos. En segundo lugar, las mediciones realizadas para la onda de corriente de las lámparas indican que la simetría de media onda puede ser considerada para caracterizar las ondas de corriente. Las ondas se inician con un tiempo de retardo cuando estas pasan por cero en la tensión de alimentación de la red.

Con respecto a la lámpara de tipo BULBO aparece un pico muy elevado donde después se produce una bajada lo suficientemente lenta hasta su anulación. El punto donde se hace cero o donde se anula la señal de corriente se mantiene constante, aunque el valor de voltaje eficaz de la red varíe. El espectro de la señal de voltaje para ambas lámparas, aunque sea

sinusoidal no deja de arrojar ruido a la red. Cuando la tensión aplicada en el tiempo de retardo disminuye se mantiene el valor eficaz de la corriente, mientras que la potencia activa y el armónico de la corriente de las lámparas disminuyen cuando la tensión decrece.

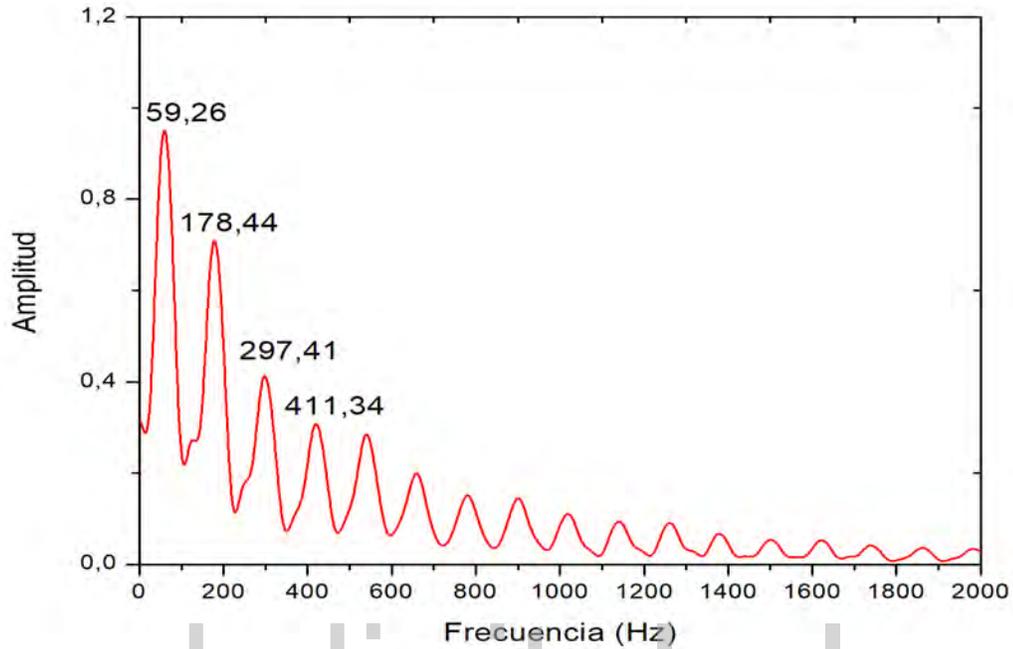


Figura 3.19. Curvas de las lámparas BULBO LED con aplicación de la Transformada de Fourier que producen los armónicos reales de la corriente inyectados a la red.

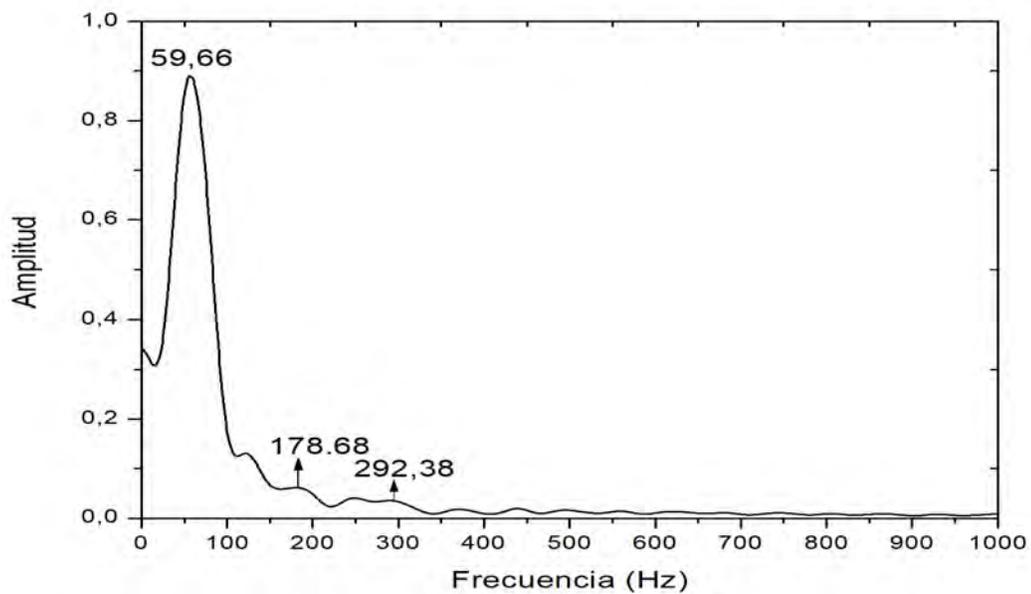


Figura 3.20. Curvas de las lámparas BULBO LED con aplicación de Transformada de Fourier que producen los armónicos reales del voltaje inyectados a la red.

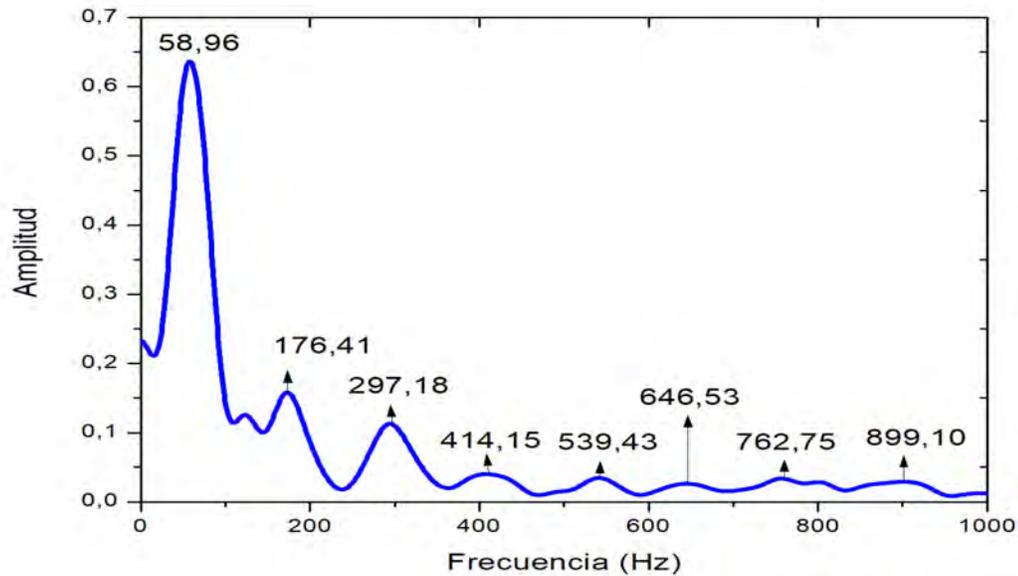


Figura 3.21. Curvas de las lámparas TUBO LED con aplicación de Transformada de Fourier que producen los armónicos reales de la corriente inyectados a la red.

Para el espectro de los armónicos tomamos los datos arrojados por el osciloscopio TEKTRONIX, y se procedió a realizar las gráficas de las figuras 3.19, 3.20, 3.21, y 3.22, en el paquete computacional de graficas ORIGIN. Donde a los espectros tanto de corriente como de voltaje de las lámparas, se aplicó la Transformada de Fourier (FFT), para así calcular y observar los valores armónicos impares.

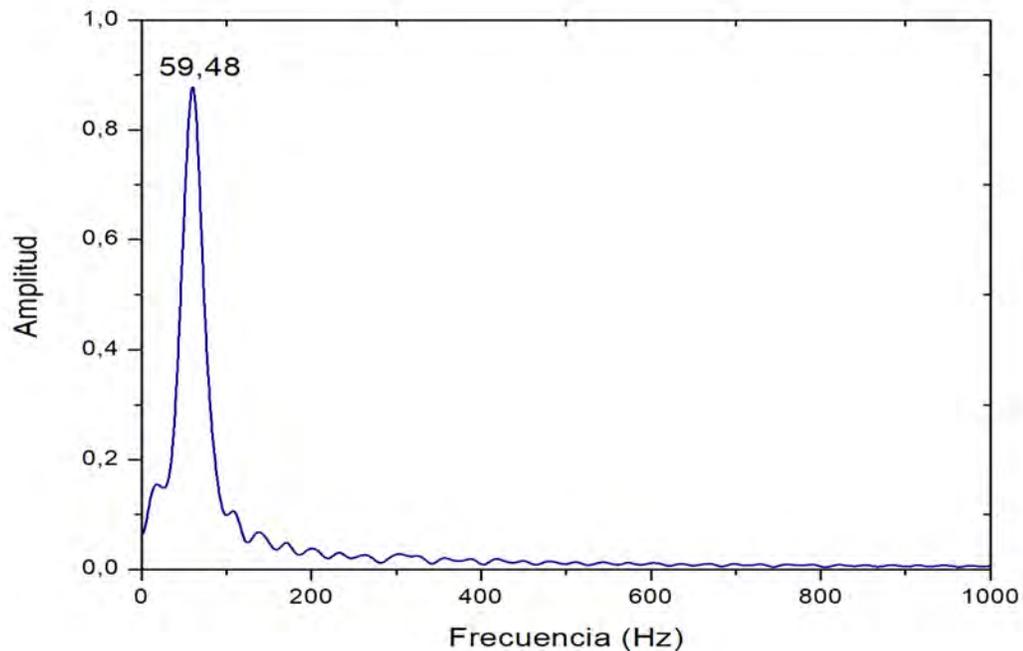


Figura 3.22. Curvas de las lámparas TUBO LED con aplicación de Transformada de Fourier que producen los armónicos reales del voltaje inyectados a la red.

Tal como se ha visto en las figuras, las lámparas LED introducen una gran cantidad de armónicos a la red del orden impar. Estas cargas son simétricas por eso no introducen armónicos de orden par. En estas figuras antes descritas se observa una frecuencia cercana a los 60 Hz que es lo enviado por la red eléctrica. Para el 3er armónico tiene la particularidad de que la frecuencia es múltiplo de la frecuencia de la red, su secuencia es cero por lo que su desplazamiento es por el neutro, y el 5to armónico se desplaza por las tres fases, al igual que 7mo.

$$THD = \frac{\sum \text{Potencia de armónicos}}{\text{Potencia de la frecuencia fundamental}} = \frac{P1 + P2... + PN}{P0} \quad (3.1)$$

Para los espectros armónicos obtenidos para la lámpara BULBO LED se registra numéricamente en la tabla 3.2 y a través de la expresión 3.1, se obtiene el valor de distorsión armónica para tensión los cuales fueron de 0,3314 o 33,14 % y el valor de distorsión armónica de corriente para la misma lámpara es de 0,2746 o 27,50 %.

Tabla 3.2. Valores de distorsión armónica de Tensión y Corriente de la lámpara BULBO LED.

| Distorsión armónica de corriente | Distorsión armónica de tensión |
|----------------------------------|--------------------------------|
| 0,0294                           | 0,0565                         |
| 0,0953                           | 0,8708                         |
| 0,0714                           | 0,0682                         |
| 0,0499                           | 0,0481                         |
| 0,0306                           | 0,0371                         |
| 0,0284                           | 0,0309                         |
| 0,0210                           | 0,0262                         |
| 0,0152                           | 0,0270                         |
| 0,0137                           | 00193                          |
| 0,0108                           | 0,0185                         |
| 0,0097                           | 0,0171                         |
| 0,0089                           | 0,0138                         |
| 0,0067                           | 0,0130                         |
| 0,0046                           | 0,0123                         |

**Tabla 3.3. Valores de distorsión armónica de Tensión y Corriente de la lámpara TUBO LED.**

| <b>Distorsión armónica de tensión</b> | <b>Distorsión armónica de corriente</b> |
|---------------------------------------|---|
| 0,3045                                | 0,0249                                  |
| 0,8867                                | 0,0632                                  |
| 0,0868                                | 0,0153                                  |
| 0,0830                                | 0,0114                                  |
| 0,0672                                | 0,0043                                  |
| 0,0560                                | 0,0037                                  |
| 0,038                                 | 0,0030                                  |
| 0,034                                 | 0,0020                                  |

Para la lámpara el TUBO LED se obtuvo el espectro mostrado en la tabla 3.3 y mediante la expresión 3.1 se calculó de nuevo el valor de la distorsión de armónicos de voltaje, el cual es de 0,0501 o 5,01 % y el valor de distorsión armónica de corriente es de 0.0644 o 6,44 %.

De acuerdo con los razonamientos que se han venido realizando, la distorsión armónica de tensión y de corriente los valores del TUBO LED son menores que los de la lámpara BULBO LED considerablemente, por lo que puede deducirse que la lámpara de TUBO LED introduce un menor número de armónicos impares y presenta una menor distorsión armónica en general, donde afecta menos a la red alimentadora.

### **3.3 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL DE LA POTENCIA DE CONSUMO DE CADA UNA DE LAS LÁMPARAS LED**

Para hacer la medición del consumo de potencia de las lámparas LED se procedió a hacer un circuito en el Laboratorio 3 y 4 de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, el cual proporciona un voltaje constante de 120 V por la red, valor importante y necesario para poner en funcionamiento estas lámparas, además que las condiciones ambientales fueron favorables para la adquisición de datos en el ensayo de las lámparas.

### 3.3.1 Valores de tensión de las lámparas.

Para las mediciones del voltaje de cada una de las lámparas se realizó un montaje como se explica en la figura 3.23. Utilizando un voltímetro digital marca UNIT-T modelo UT61C. El cual cuenta con un rango de 0 a 750 V.

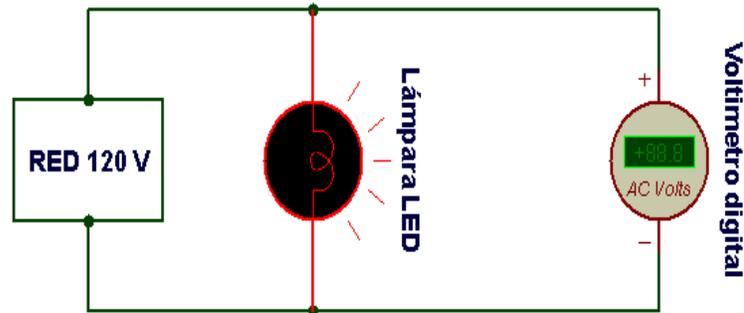


Figura 3.23. Circuito de medición de voltaje para lámparas LED



Figura 3.24. Multímetro utilizado para la medición de voltaje.

Al encender cada lámpara con el voltaje de la red se obtuvieron las siguientes medidas de tensión:

Tabla 3.4. Medición de voltaje de cada lámpara.

|                          | Voltaje (V) |
|--------------------------|-------------|
| <b>LAMPARAS LED</b>      |             |
| LED BULD CLASSIC LUX 12W | 120         |
| TUBO LED T8 IKATALED 9W  | 120         |

El voltaje de cada lámpara es el mismo del que suministra la red eléctrica, que en este caso sería la tensión de alimentación, es decir que las lámparas LED que van a ser sometidas a estudios, van a trabajar a una tensión de 120V.

### 3.3.2 Valores de corriente de las lámparas.

Para hacer las mediciones de la corriente que va circular por cada lámpara se realizó un montaje del circuito que se muestra en la figura 3.25. Se utilizó una pinza amperimétrica marca UNIT-T modelo UT202, para obtener lecturas más precisas.



Figura 3.25. Circuito de medición para la corriente de las lámparas LED



Figura 3.26. Pinza amperimétrica para medir corriente.

De la misma forma como se hizo en la experiencia anterior, se conecta las lámparas a la red de excitación que es de 120V y arrojaron las siguientes medidas de corriente:

Tabla 3.5. Medidas de corriente para cada una de las lámparas.

|                          | Corriente (A) |
|--------------------------|---------------|
| <b>LAMPARAS LED</b>      |               |
| LED BULD CLASSIC LUX 12W | 0,096         |
| TUBO LED T8 IKATALED 9W  | 0,069         |

Como se puede observar, en los valores obtenidos de corriente, el consumo que tiene la lámpara de bulbo es mayor que los valores debido a que la potencia es mayor que de la

lámpara de tubo LED, esto quiere decir que la corriente varía dependiendo del diseño y potencia de cada lámpara.

### 3.3.3 Valores de factor de potencia.

Para calcular los valores de potencia de las lámparas en estudio, se debe montar el circuito de la figura 3.27 Para obtener valores del factor de potencia de cada una de las lámparas.

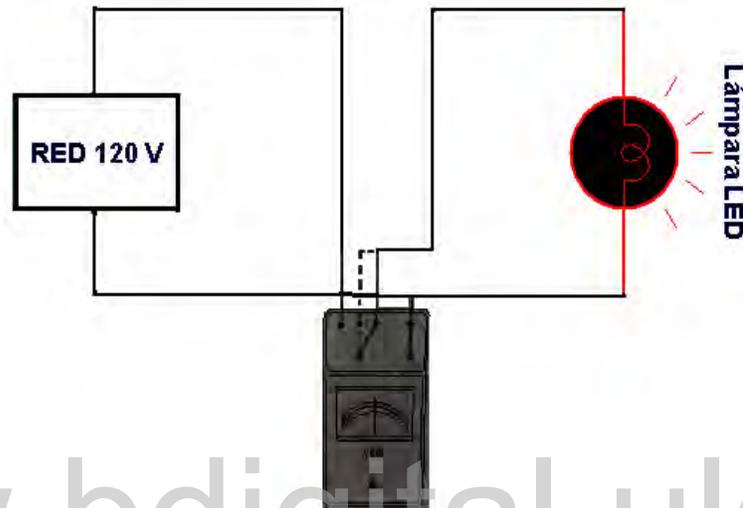


Figura 3.27. Circuito de medición del factor de potencia de las lámparas en estudio.



Figura 3.28. Cosfímetro para medir el factor de potencia.

Para encontrar los valores de potencia, es necesario obtener los factores de potencia de cada una de las lámparas se realizó mediante el Cofímetro o Cosfímetro marca YEW (Yokogawa Electric Works). La lámpara BULBO LED genera un ángulo de  $34^\circ$  y el TUBO LED un ángulo de  $24^\circ$ , calculando el coseno de cada ángulo los valores del factor de potencia se representan en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6. Medición del factor de potencia de cada una de las lámparas.**

| Factor de potencia       |      |
|--------------------------|------|
| LAMPARAS LED             |      |
| LED BULD CLASSIC LUX 12W | 0,83 |
| TUBO LED T8 IKATALED 9W  | 0,92 |

Como se observa en la tabla 3.6 el factor de potencia de una de estas lámparas específicamente el TUBO LED es mayor a 0,90, se llega a la conclusión de que el producto es de calidad y más eficiente ya que esta cercano a 1.

A continuación, en la tabla 3.7 se representa los valores medidos de voltaje, potencia, factor de potencia y corriente para cada lampara LED.

**Tabla 3.7. Características eléctricas del bombillo LED y tubo LED.**

| LAMPARAS LED            |              |             |
|-------------------------|--------------|-------------|
| Fabricante              | LED BULB 12W | TUBO LED T8 |
| Voltaje (V)             | 120          | 120         |
| Corriente (A)           | 0,096        | 0,069       |
| Cos ( $\alpha$ )        | 0,83         | 0,92        |
| Potencia Activa(W)      | 9,56         | 7,62        |
| Potencia Aparente (VA)  | 11,50        | 8,28        |
| Potencia Reactiva (VAR) | 6,45         | 3,39        |

Como se observa en la tabla 3.7 tiene los valores que se adquirieron en esta experiencia, de voltaje, corriente y factor de potencia, se calcularon los valores de potencia de cada una de las lámparas LED. La potencia activa es la energía que es utilizada por los LED para transformarla en electricidad. La energía que no se utiliza es la que se denomina potencia reactiva. Esta potencia se va perdiendo a causa de los drivers que conforman a este tipo de tecnología.

### **3.4 COMPROBACIÓN DEL ESPECTRO LUMINOSO DE CADA UNA DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO.**

El desarrollo de esta experiencia es muy importante para poder ver las características cromáticas y la eficiencia que tiene las lámparas LED. Para realizar la medición de espectro

luminoso y verificar las curvas necesarias para las lámparas en estudio, se contó con un espectrofotómetro marca HILGER & WATTS modelo MERCURY SPECTROMETER, ubicado en el Laboratorio 3 y 4 de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes. Laboratorio adaptado ya que cuentan con los instrumentos necesarios para hacer estos tipos de experiencia tanto ópticos como el análisis de las lámparas. Para hacer este ensayo se utilizaron los siguientes materiales:

- Red eléctrica 120 V.
- Lámparas LED.
- Bases para los bulbos LED.
- Bases de madera para los tubos LED.
- Socates.
- Espectrómetro.
- Fotodetector.
- Paquete de computación (Origin y Pícolo recorder).
- Tarjeta de adquisición de datos Pico Technology modelo ADC-100.

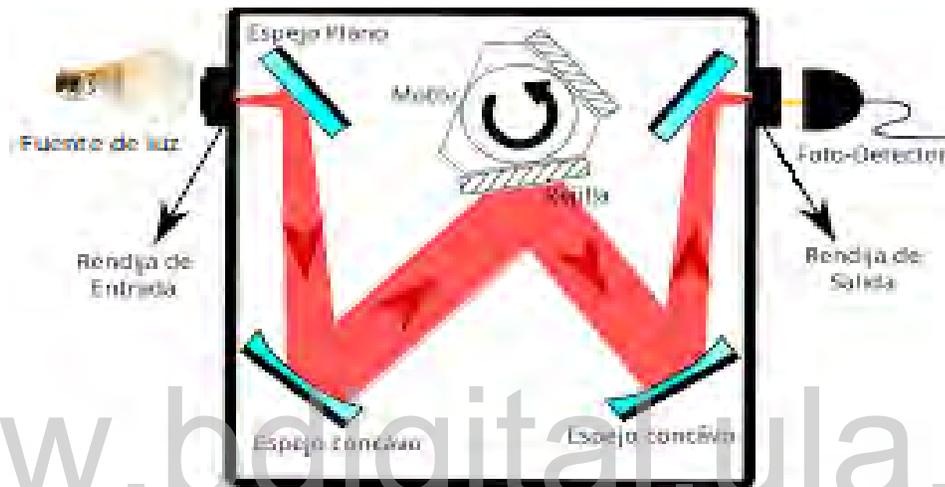
Para este desarrollo experimental, se colocó cada lámpara a una distancia de 10 cm de distancia del foco receptor (lente) o rendija de entrada del espectrofotómetro. Este utiliza una rejilla de difracción de 1.000 (líneas/mm) en lugar de una rejilla de transmisión. La rejilla se encuentra centrada, por lo general puede hacer barridos de longitud de onda ente 100 a 1.100 nanómetros aproximadamente y un fotodetector a la salida.

Para seleccionar la longitud de hace a través de un motor que se hace girar, este se encuentra en la parte lateral de espectrofotómetro, este motor permite indicar la posición donde se fija una longitud de onda.

La luz que entra por la rendija receptora es reflejada a través de un espejo plano que se encuentra a un ángulo aproximado de 45 grados a un espejo cóncavo, este espejo recibe la

luz y la refleja haciéndola incidir sobre toda el área de la rejilla de difracción que se encarga de separar el espectro de la luz emitida por la lámpara.

El espectro producido por la rejilla (dividiendo la luz en franjas que muestran su espectro) es reflejado a diferentes posiciones dependiendo de la longitud de onda en la que esté. Esta luz es de nuevo reflejada sobre otro espejo cóncavo que se encarga de enfocar la luz. Esta última es de nuevo reflejada sobre otro espejo plano que también se encuentra a 45 grados para sacarla a través de la rejilla de salida como se ve en la figura 3.29.



**Figura 3.29. Esquema de funcionamiento del espectrofotómetro [23].**

En la rendija de salida se encuentra acoplado un fotodetector, donde recibe la señal y es enviada a la tarjeta de adquisición de datos. y esta envía los datos al programa computacional PICOLOG, donde se hicieron dos tipos de estudios:

El primer estudio que se hizo fue un barrido completo del espectro de las lámparas tipo LED tanto de tipo bulbo como las de tubo, adquiriendo mil ochenta (1.080) muestras, en un tiempo aproximado de veinte (20) minutos, y el rango que se usó para el estudio del espectro fue de 100 a 900 nanómetros (nm). Aparte se hizo un segundo muestreo que va desde 300 nanómetros a 900 nanómetros adquiriendo 600 datos, en un tiempo de diez (10) minutos.

En la figura 3.30 se muestra el esquema del montaje experimental de esta experiencia.

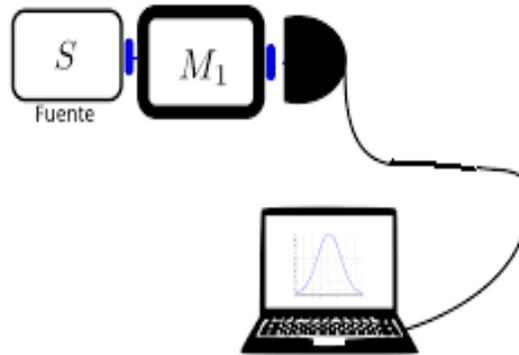


Figura 3.30. Esquema del montaje experimental [24].

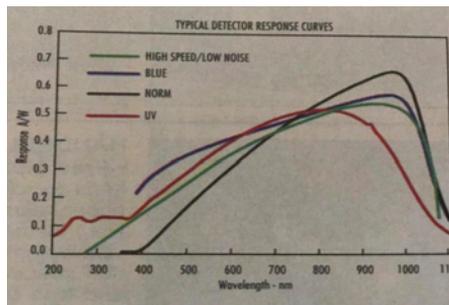


Figura 3.31. Respuesta espectral del fotodetector en función de la longitud de onda.



Figura 3.32. Tarjeta de adquisición de datos Pico Technology DAC-100.

En la figura 3.31 se ve la respuesta del fotodetector donde logra proporcionar un medio para transformar la energía luminosa en corriente eléctrica. Cuando la luz con suficiente energía incide sobre el detector, la acumulación de carga resultante conduce un flujo de corriente en un circuito externo. Esto hace que este tipo de operación sea más adecuada para aplicaciones de alta frecuencia.

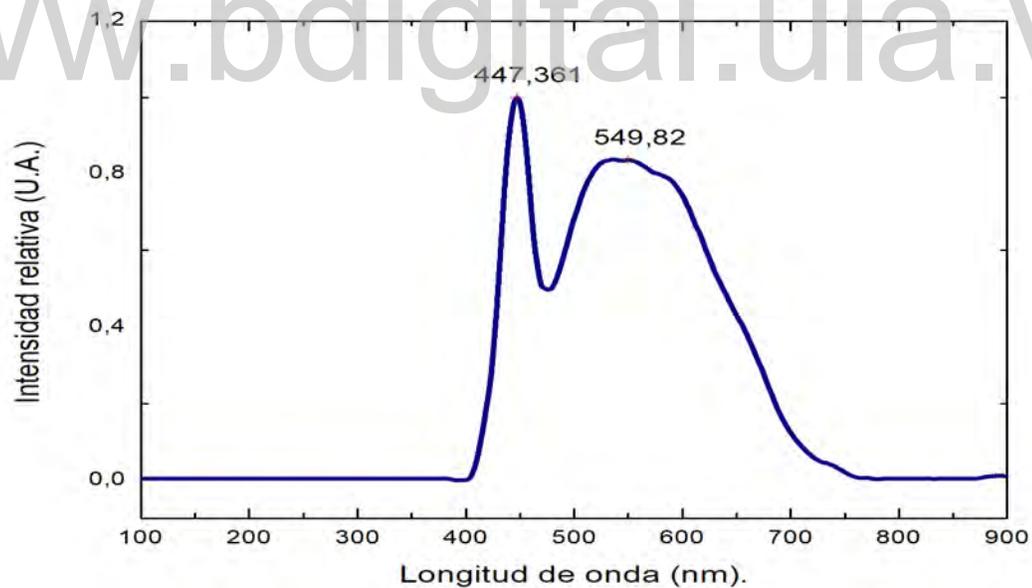
La gráfica de la figura 3.32 se muestra la tarjeta de adquisición de datos marca Pico Technology modelo ADC-100 que se usó en esta experiencia, cuenta con una resolución de 12 bits, tiene dos canales de entrada, los rangos de voltaje son de 50 mV a 20 V.

Finalmente, los valores de voltaje adquiridos con la tarjeta de adquisición de datos son promediados y graficados en función de la longitud de onda, así permitiendo conocer el espectro característicos de cada una de las lámparas LED.

Es importante destacar antes de analizar las gráficas, que el ojo humano tiene un rango de visión de colores que está comprendido por radiaciones emitidas dentro de las longitudes de onda de 380 nanómetros hasta 780 nanómetros, como se muestra a continuación:

**Tabla 3.8. Rango de espectros luminosos visibles.**

| Color    | Longitud de onda |
|----------|------------------|
| Violeta  | 380-450 nm       |
| Azul     | 450-495 nm       |
| Verde    | 495-570 nm       |
| Amarillo | 570-590 nm       |
| Naranja  | 590-620 nm       |
| Rojo     | 620-750 nm       |

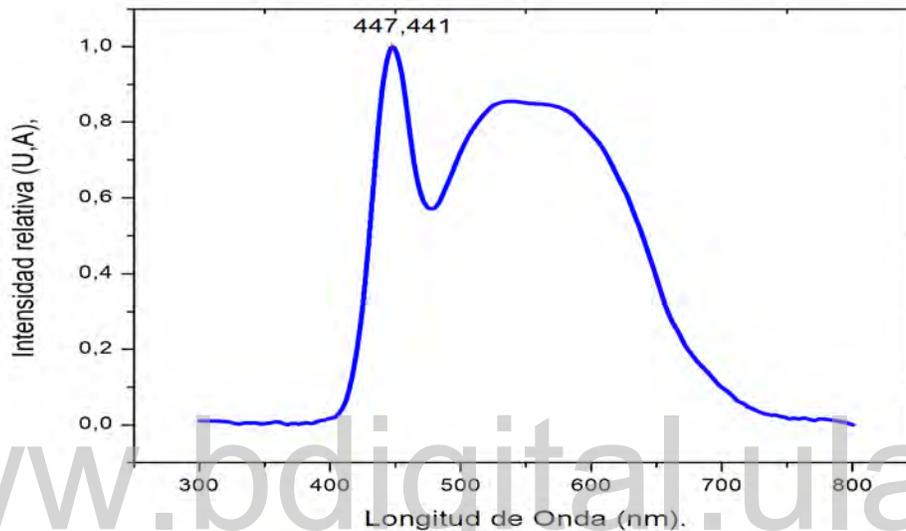


**Figura 3.33. Distribución espectral completa con rango de emisiones ultravioletas de las lámparas BULBO LED CLASSIC LUX 12W con tapa difusora.**

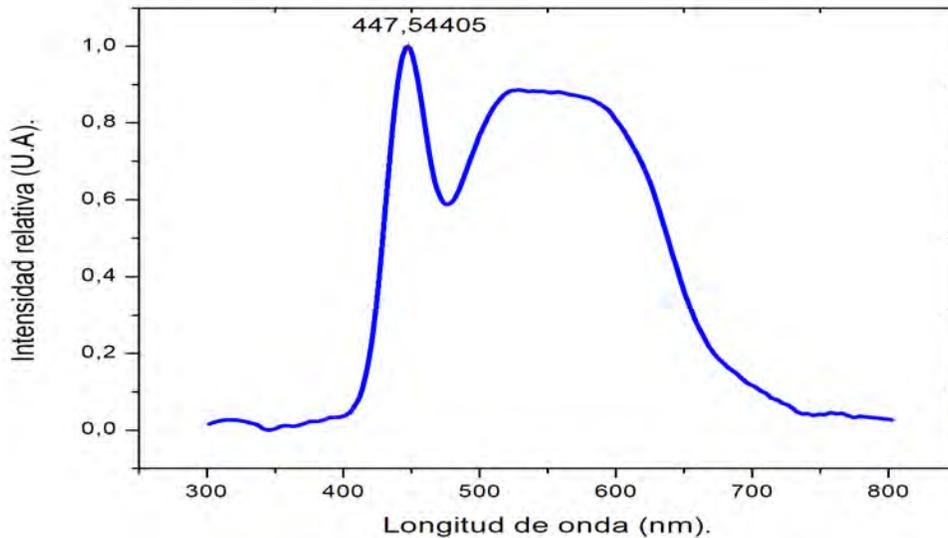
Como se observa en la gráfica de la figura 3.33 se hizo un barrido completo de todo el espectro luminoso de las lámparas LED tipo bulbo, donde en los rangos de 100 a 380 nanómetros no hay emisiones de radiaciones ultravioletas. A partir de los 400 nm va subiendo hasta alcanzar una máxima emisión para una longitud de onda en los 447 nm, que corresponde a tonalidades

de color azul, después descende y vuelve a tomar valores importantes en las longitudes de onda de 525 a 575 (nm) llegando casi a los 700 nm donde está la máxima sensibilidad para la percepción visual que corresponde a los colores verde, amarillo y tomando valores de color rojo. Ya después de los 800 nm no hay emisión de radiaciones infrarrojas.

Estas lámparas emiten radiaciones luminosas sobre varias longitudes de ondas seguidas con transiciones de colores consecutivas, estos espectros son llamados continuos.



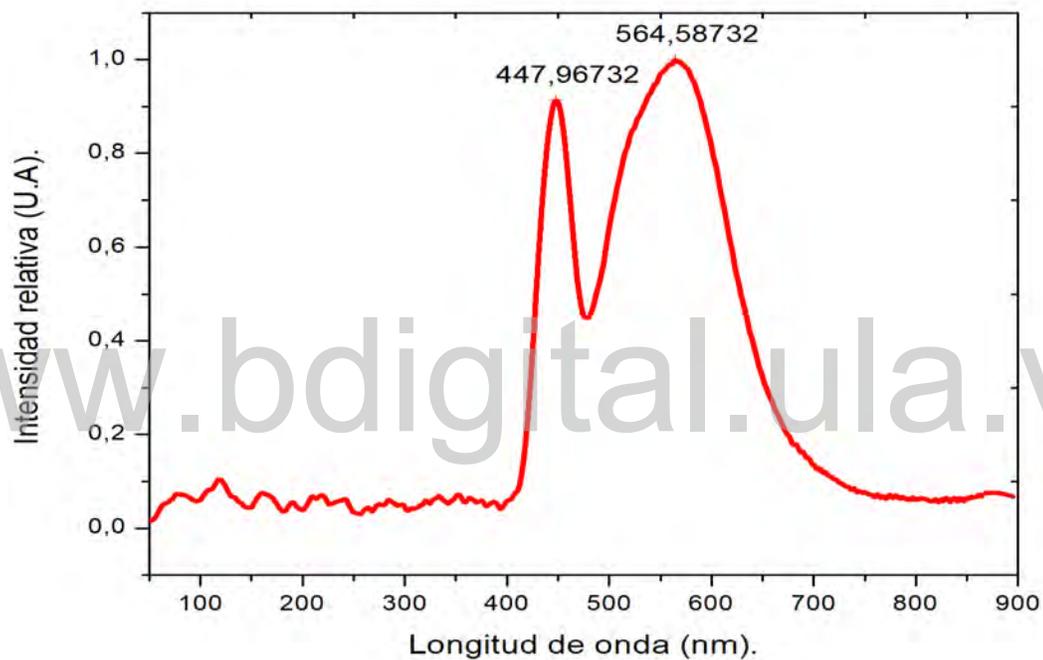
**Figura 3.34.** Distribución espectral de las lámparas BULBO LED CLASSIC LUX 12W con tapa difusora.



**Figura 3.35.** Distribución espectral de las lámparas BULBO LED CLASSIC LUX 12W sin la tapa difusora.

En las gráficas de las figuras 3.34 y 3.35 se hizo el mismo estudio donde parten desde los 300 nanómetros con la diferencia de que el estudio de la fig. 3.35 fue realizada sin la tapa difusora, esta tapa protege a la vista de la emisión que emite los leds, sin la tapa y con la ayuda de un luxómetro se denota que a una misma distancia tiene un 50 % adicional de intensidad de luz que teniendo la tapa difusora.

En los estudios se ve que no cambia en nada en relación del espectro luminoso, se observa que ambos tienen el pico más alto en los 447 nm y tiene el mismo recorrido que la gráfica de la figura 3.33.



**Figura 3.36. Distribución espectral de las lámparas TUBO LED IKATALED 9W.**

La gráfica de la figura 3.36 corresponde a las lámparas LED tipo tubo, donde también se hizo un barrido completo de todo el espectro desde 100 a 900 nm, donde no se observa emisiones de radiaciones ultravioletas, ni tampoco emisiones infrarrojas. Se puede comprobar que el pico más alto está también en 447 nm. Después de este pico hay una banda de emisión bastante amplia donde hay una particularidad que se observa un segundo pico más alto en este tipo de lámparas que está en los 563 nm que son las emisiones del color amarillo, esto quiere decir como esta en el medio de la longitud de onda, es de luz neutra.

En la gráfica 3.37 en un segundo barrido de 300 nm a 900 nm donde se quiere ver el espectro visible por el ojo humano, se comprueba que el pico más alto esta en un punto entre 550 y

570 nm aproximadamente.

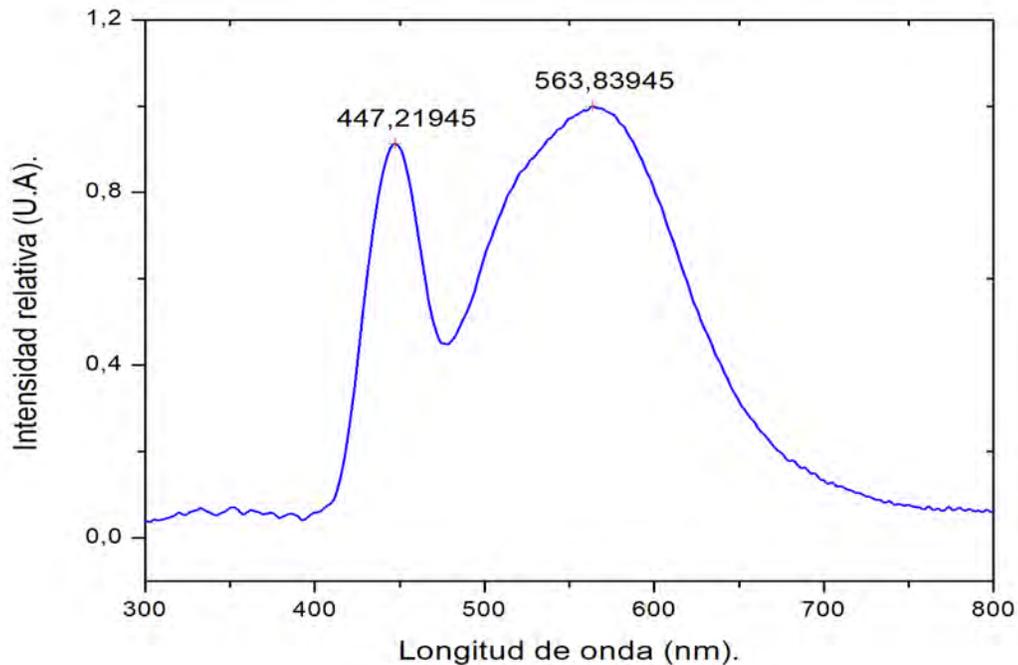


Figura 3.37. Señales de voltaje y corriente superpuesta del BULBO LED con osciloscopio UNIT-T.

### 3.5 ANÁLISIS MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN LUMINOSA

Para el desarrollo de esta experiencia se quiere detallar la forma y dirección de la distribución en el espacio de las lámparas LED que están sometidas a estudios, donde se desea observar mediante de curvas fotométricas como se distribuye la luz. Para el siguiente análisis se emplearon los siguientes instrumentos:

- Red eléctrica 120 V.
- Lámparas LED.
- Bases para los bulbos y tubos LED.
- Socates.
- Luxómetro.

- Goniómetro.

La metodología utilizada fue la siguiente: se fijaron las lámparas LED en el centro del goniómetro a esto se le llama el centro óptico como se muestra en la figura 3.38 y 3.39, con un ángulo de inicio en 0 grados. Con una base colocada al frente de las lámparas se instaló el sensor del luxómetro a una distancia considerable para medir la intensidad de luz en diversos ángulos tanto en el plano transversal como en el plano longitudinal.

A continuación, se muestra la instalación de las lámparas para proceder a sus mediciones.



Figura 3.38. Esquema del montaje experimental con el BULBO LED.



Figura 3.39. Esquema del montaje experimental con el TUBO LED.

En la figura 3.40 se muestra el luxómetro utilizado en esta experiencia y en la tabla 3.9 se encuentra las características.



Figura 3.40. Luxómetro digital marca EXTECH modelo 403125.

Tabla 3.9. Características de luxómetro digital marca EXTECH modelo 403125.

| Luxómetro               | Modelo   |
|-------------------------|--|
| Rango de medición (Lux) | EXTECH 403125  |
|                         | 20, 200, 2000, 20.000 lux<br>(tener en cuenta que el rango de 20.000 es se muestra en el modo x10, lo que significa que la pantalla debe estar multiplicado por 10). |

A continuación, con los datos arrojados en esta experiencia se procedió a graficar la curva polar de cada lámpara LED en estudio. Normalmente la curva polar representa los dos planos verticales: el transversal (0 grados) y longitudinal (90 grados), para determinar la distribución de las intensidades luminosas que emiten estas lámparas LED en estos planos. También se graficó el diagrama en cartesianas, son típicos para describir las características de las lámparas y ver la apertura del haz luminoso de estas.

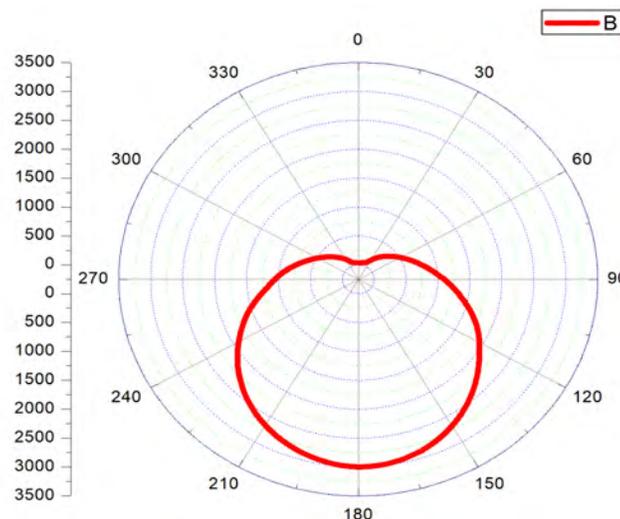


Figura 3.41. Diagrama curva polar de las lámparas BULBO LED.

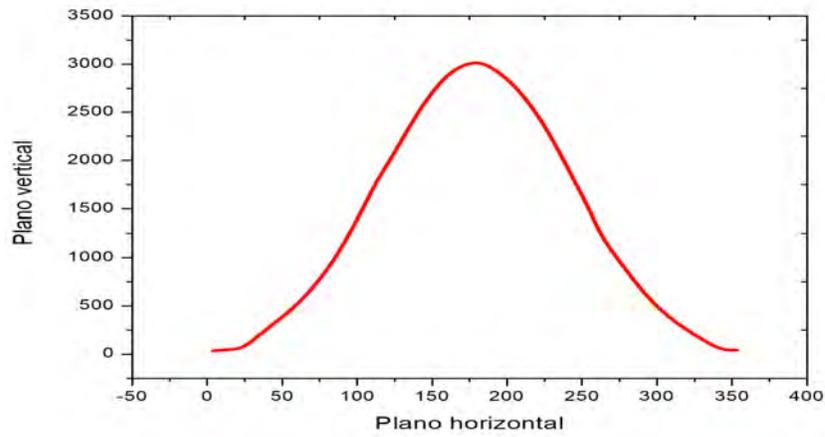


Figura 3.42. Diagrama cartesiano de las lámparas BULBO LED.

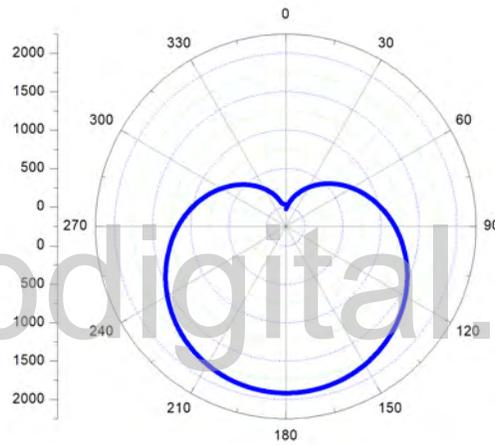


Figura 3.43. Diagrama curva polar de las lámparas TUBO LED.

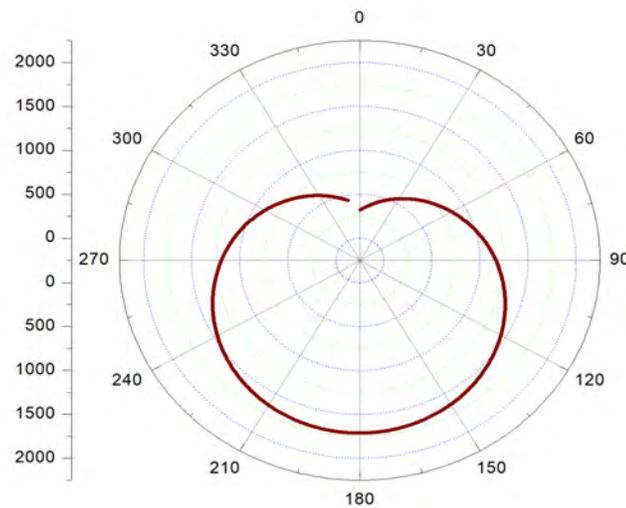
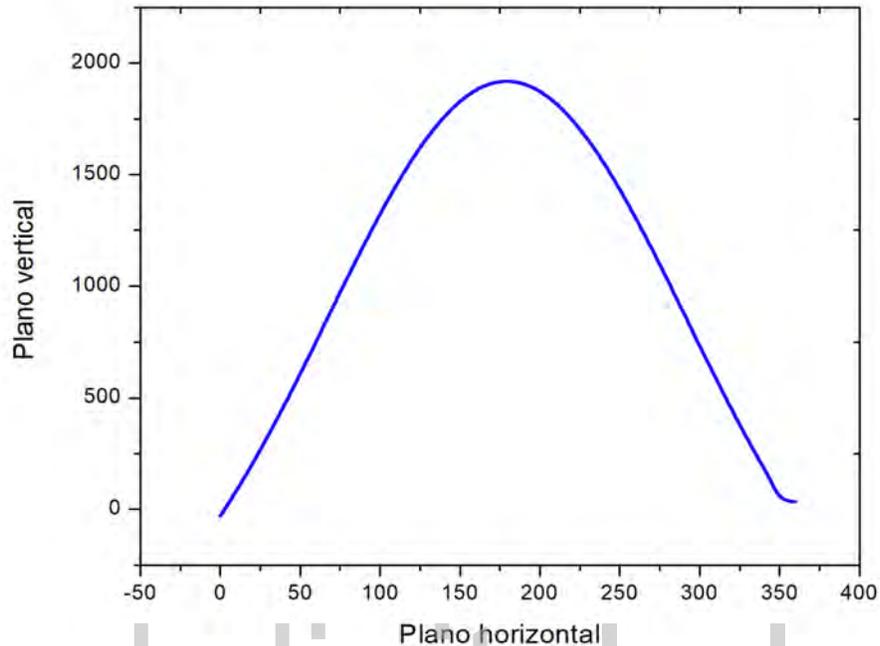


Figura 3.44. Diagrama curva polar transversal de la lámpara TUBO LED.

En la gráfica de la figura 3.44, se ve las medidas del corte transversal de iluminancia de la lámpara TUBO LED, la gráfica del BULBO LED no se representa ya que, por ser simétrica, su corte transversal sería el mismo que el longitudinal.



**Figura 3.45. Diagrama cartesiano de las lámparas TUBO LED.**

En las gráficas de las figuras 3.41 y 3.43 se muestran la intensidad en lux que proyectan estas lámparas LED donde se observan que estas luminarias son simétricas, y proyectan luz con buenos ángulos lo que implica que dejan menos espacios sin iluminar. En cualquiera de los planos que se tomen estas medidas van a contener los mismos valores fotométricos. El valor más alto para cada lámpara fueron en posición perpendicular exactamente en 180 grados donde arrojaron 1.920 lux en el tubo LED y 3.020 lux en el bulbo LED.

En las gráficas de las figuras 3.42 y 3.45 cartesianas de la figura se puede describir la apertura del haz que tienen estos tipos de lámparas LED que se sometieron a esta investigación.

Es importante destacar que las lámparas LED ya no presentan una distribución luminosa unidireccional, ya que las lámparas LED tipo BULBO se asemeja a una incandescente en su distribución, al igual que la lámpara de tipo TUBO LED.

### **3.6 ANÁLISIS MEDIANTE MONTAJE EXPERIMENTAL DE LA VIDA ÚTIL Y DE LA VIDA MEDIA DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO.**

Para el desarrollo de esta experiencia se contó con una cantidad representativa de cuatro (4) lámparas, dos (2) de cada tipo, del mismo fabricante y con las mismas características. Estas lámparas LED fueron sometidas a condiciones específicas debido a las condiciones dadas, los altos costos de esta tecnología, contribuyen a que esta experiencia sea reducida, pero con la capacidad de adquirir datos interesantes en este tipo de investigación.

El procedimiento que se aplicó en esta experiencia fue contar con un laboratorio con el espacio grande y con las condiciones necesarias como la temperatura, y el mismo voltaje, para realizar las mediciones de esta investigación para cada una de las lámparas.

#### **3.6.1 Vida media de las lámparas.**

En esta experiencia se quiere estudiar la vida media de las lámparas, que se calcula desde que se encienden por primera vez hasta que se produce un fallo del 50 %, sometidas a varias condiciones, por lo cual se toma en cuenta el funcionamiento ideal, lo que esto implica ciclos de dos (2) horas, es decir, que se encienda y se apaguen cada dos (2) horas, es el tiempo promedio en que las lámparas tardan en enfriarse completamente.

Se hace necesario resaltar que con esta experiencia se quiere determinar si el encendido y apagado contribuyen a que se acelere su depreciación. Como ocurre con las lámparas fluorescentes. También se activó dos lámparas LED de cada tipo y dejarlas encendidas sin interrupciones las 24 horas del día, y las otras dos lámparas cumpliendo el ciclo mencionado anteriormente.

En cuanto a las herramientas necesarias para esta experiencia se tiene:

- Red eléctrica 120 V.
- Lámparas LED.
- Bases para los bulbos LED.

- Bases de madera para los tubos LED.
- Socates.
- Cable coaxial.
- Regletas.
- Paquete computacional software (LABVIEW).
- Tarjeta de adquisición de datos 6009 National Instrument.
- Circuito electrónico.

Para esta investigación se procedió a crear un programa con la herramienta computacional (LABVIEW), donde el funcionamiento es que dos (2) de las lámparas LED en estudio, cumpla el ciclo de encendido y apagado con un tiempo estimado de dos (2) horas. Cada lámpara va conectada al circuito electrónico, conformados por varios componentes electrónicos como se muestra en las figuras 3.46 y 3.48, que al encender las lámparas mandan una emisión de luz a las fotorresistencias, estas a su vez recibe un voltaje con la intensidad de luz que recibe de las lámparas LED, este voltaje recibido es enviado a la tarjeta de adquisición de datos conectada al circuito y arroja los datos hacia el programa creado, donde almacena los datos y hace un seguimiento a las señales que manda las lámparas, para comprobar la vida media y útil de estas lámparas LED.

Para construir el circuito integrado se contó con los siguientes componentes:

- 4 fotorresistencias (Una para cada lámpara).
- 2 amplificadores operacionales LM358.
- 4 resistencias de 10K ohm.
- 4 resistencias de 39k ohm.
- 4 resistencias de 520 ohm.
- 4 resistencias de 370 ohm.
- 4 optoacopladores MOC 3021.

- 4 triacs BJT 136.

Se procedió a montar el esquema como se muestra en la figura 3.46 y 3.48 donde se observa que cuando incide luz a la fotorresistencia arroja un voltaje dependiendo de la intensidad de luz. Cuando no hay luz el voltaje es nulo. Este circuito trabaja con un voltaje de 5V que es enviado por la tarjeta de adquisición de datos National Instruments 6009.

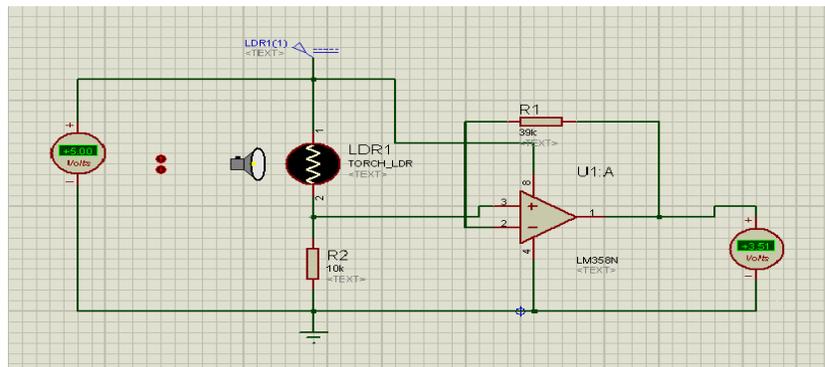


Figura 3.46. Circuito electrónico con LDR y emisión de luz.

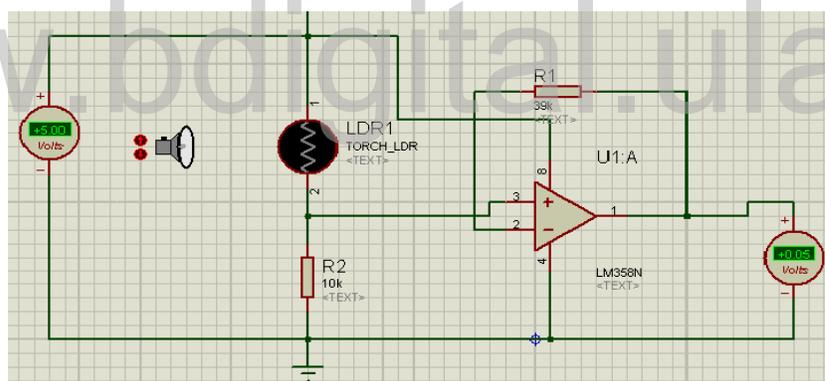


Figura 3.47. Circuito electrónico con LDR sin emisión de luz.

El circuito 3.48 se observa el circuito que separa la parte DC de la AC. El funcionamiento de un optoacoplador se debe de aplicar una corriente a su entrada, lo que hace que el LED emita una luz proporcional a dicha corriente. Esta luz es transmitida por el encapsulado hasta incidir en el sensor o fotodetector. Si la cantidad de luz alcanza un nivel adecuado, el sensor entrará en saturación permitiendo que la corriente circule por el circuito de salida. Este circuito integrado funciona básicamente como un interruptor, conectando dos circuitos aislados ópticamente. Cuando la corriente deja de fluir a través del LED, el dispositivo fotosensible también deja de conducir y se apaga.

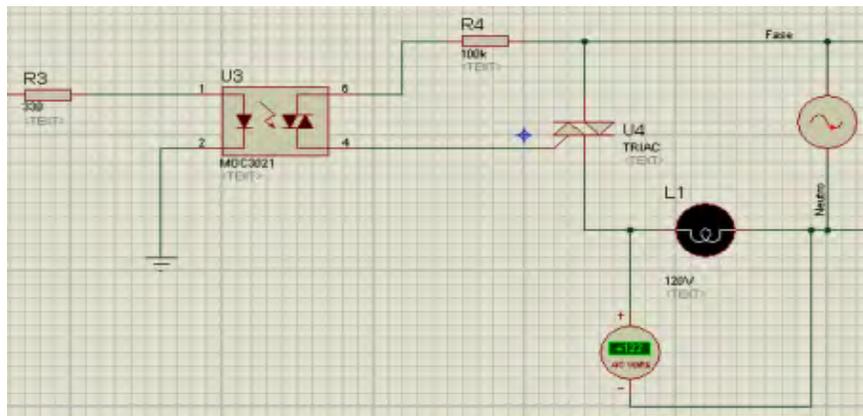


Figura 3.48. Circuito con optoacopladores y triac.



Figura 3.49. Tarjeta de adquisición de datos National Instruments 6009.



Figura 3.50. Interfaz gráfica del programa utilizado en LABVIEW.

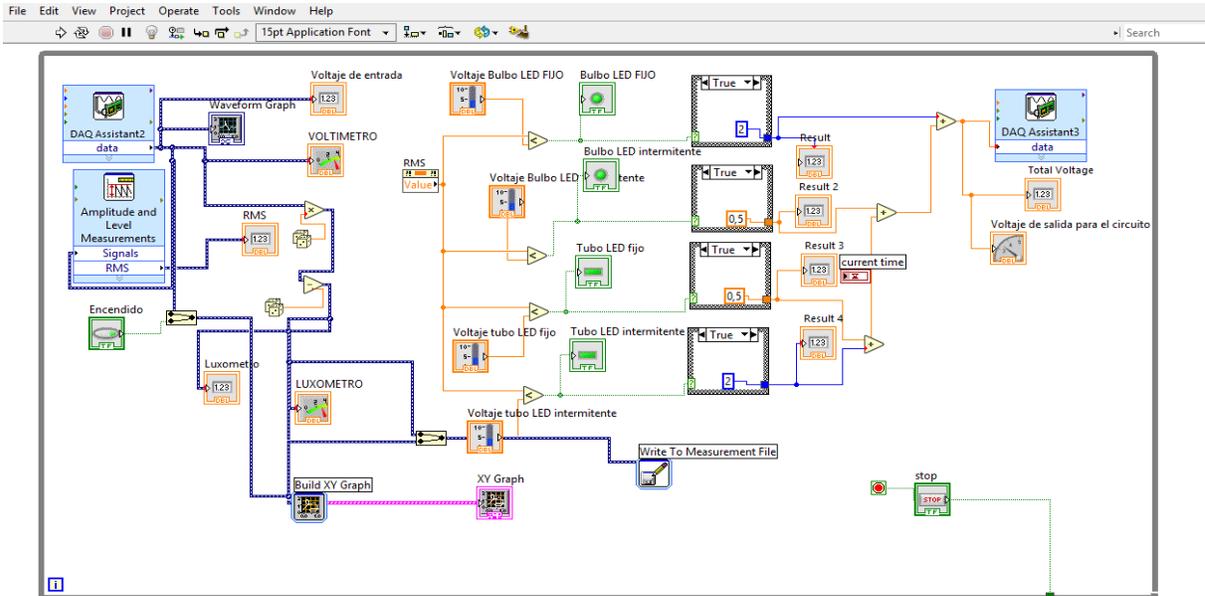


Figura 3.51. Circuito empleado para el funcionamiento del programa en LABVIEW.

En la figura 4.49 se puede observar la tarjeta de adquisición de datos que se utilizó para esta experiencia es conectada a través de un cable USB a la computadora, ofrece entradas y salidas analógicas, como también entradas y salidas digitales, y tiene un contador de 32 bits. Puede conectar fácilmente sensores y señales al USB-6009 con conectividad de terminal de tornillo.

Como se logra observar en las figuras anteriores se muestra la interfaz gráfica del programa y la programación. La finalidad para el desarrollo de este programa fue registrar datos continuos para observar la señal que envía cada lámpara a través del voltaje, registrar estos datos automáticamente, guardarlos en un archivo específico, permitir cambiar el tiempo de encendido y apagado de las lámparas, graficar cada señal arrojada por las lámparas, guardar datos cada cierto tiempo, si el programa detecta si se va la luz entrar en suspensión.

Una vez que se encendieron las lámparas se inició con la fase de observación y registro de datos, que se ejecutó durante todo el tiempo que se desarrolló el experimento de 26 semanas.

Tabla 3.10. Tiempo de registro de la vida media de las lámparas LED

| Lámparas LED                       | Vida media (Hrs)    |
|------------------------------------|---------------------|
| BULBO LED CLASSIC LUX fija         | No finalizó su vida |
| BULBO LED CLASSIC LUX intermitente |                     |
| TUBO LED IKATALED fija             |                     |
| TUBO LED IKATALED intermitente     |                     |

Debido a que este estudio fue para veintiséis (26) semanas aproximadamente, que suman un total de 4.270 horas de uso, no se logró verificar el estudio de la vida media de este grupo de lámparas LED, ya que la información que da el fabricante de estas lámparas mantiene una vida media de 25.000 horas a las de tipo bulbo y 30.000 a las de tipo tubo.

### **3.6.2 Vida útil de las lámparas.**

Para el desarrollo experimental de la vida útil de las lámparas LED, es necesario contar con la curva de depreciación luminosa, donde se toma en cuenta la reducción progresiva del flujo luminoso a un 20 o 30 % de su valor inicial, debido al deterioro y uso de los componentes que la conforman.

La vida útil de una lámpara es el tiempo en la que funciona a niveles óptimos sin perder la iluminación, y se pueda garantizar en función del voltaje en la que se alimente, y la temperatura en donde se encuentre la lámpara.

Para esta experiencia se utilizó un cubículo completamente oscuro en el Laboratorio 3 y 4 de la Facultad de Ciencias, donde se encerró en un espacio lo suficientemente grande para cada tipo de lámpara LED para evitar cualquier tipo de reflexión de luz.

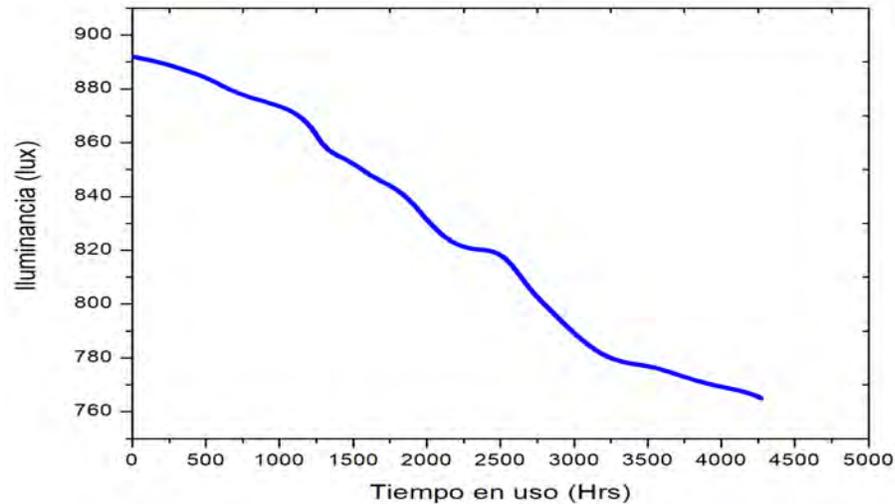
Cada una de las lámparas fue colocada a una altura aproximada de dos (2) metros sobre el nivel del piso donde fueron conectadas a la tensión de la red de 120V. Para las mediciones se colocó a una distancia de 0,50 metros aproximadamente la fotorresistencia para tomar los valores de voltaje, estas señales son adquiridas por la tarjeta de datos y pasados al programa computaciones en LABVIEW. También se utilizó el luxómetro de la figura 3.40 donde se hacían mediciones una vez a la semana a la misma distancia en la que se encontraba la fotorresistencia con este instrumento.

La tabla 3.11 reúne los datos recolectados de la muestra para analizar el comportamiento de la iluminancia para cada uno de los tipos de lámparas empleados en el estudio y puestos en funcionamiento de forma fija.

Tabla 3.11. Iluminancia medida en lux para cada una las lámparas en estudio.

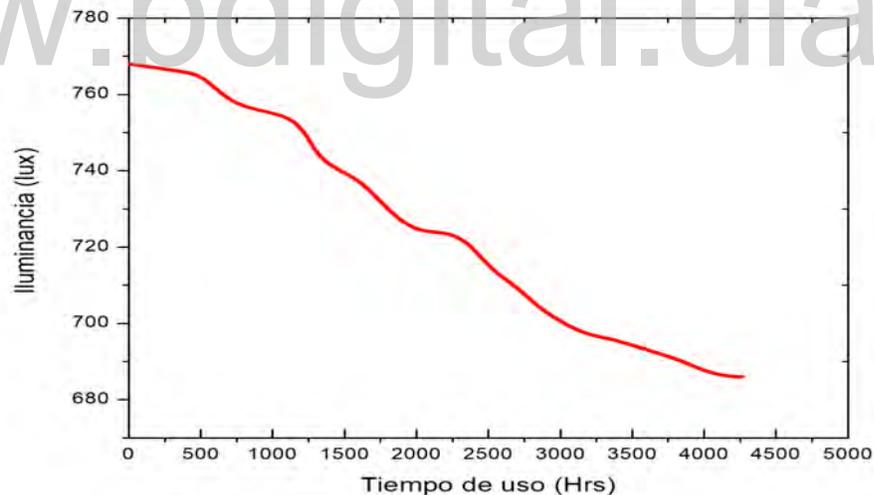
| LAMPARAS LED        |                     |                   |
|---------------------|---------------------|-------------------|
| Tiempo de uso (Hrs) | Bulbo LED 12W (lux) | TUBO LED 9W (lux) |
| 0                   | 892                 | 768               |
| 191                 | 890                 | 767               |
| 359                 | 887                 | 766               |
| 526                 | 884                 | 765               |
| 742                 | 877                 | 756               |
| 1.174               | 872                 | 755               |
| 1.294               | 857                 | 744               |
| 1.468               | 854                 | 740               |
| 1.630               | 847                 | 737               |
| 1.846               | 842                 | 728               |
| 2.014               | 830                 | 724               |
| 2.182               | 822                 | 724               |
| 2.350               | 820                 | 722               |
| 2.518               | 820                 | 714               |
| 2.686               | 806                 | 710               |
| 2.854               | 797                 | 704               |
| 3.022               | 788                 | 700               |
| 3.190               | 781                 | 697               |
| 3.350               | 778                 | 696               |
| 3.526               | 777                 | 694               |
| 3.694               | 774                 | 692               |
| 3.862               | 771                 | 690               |
| 4.030               | 769                 | 687               |
| 4.198               | 767                 | 686               |
| 4.270               | 765                 | 686               |

Se puede observar de la tabla anterior, que los datos adquiridos no fueron suficientes debido al tiempo para poder verificar el desempeño de su vida útil, hasta la fecha ninguno de los dos tipos de lámparas LED, ha descendido hasta el valor crítico, o ha bajado un 30 % de su valor inicial. A continuación, se muestran los comportamientos correspondientes a la depreciación del flujo luminoso de cada una de las lámparas estudiadas.



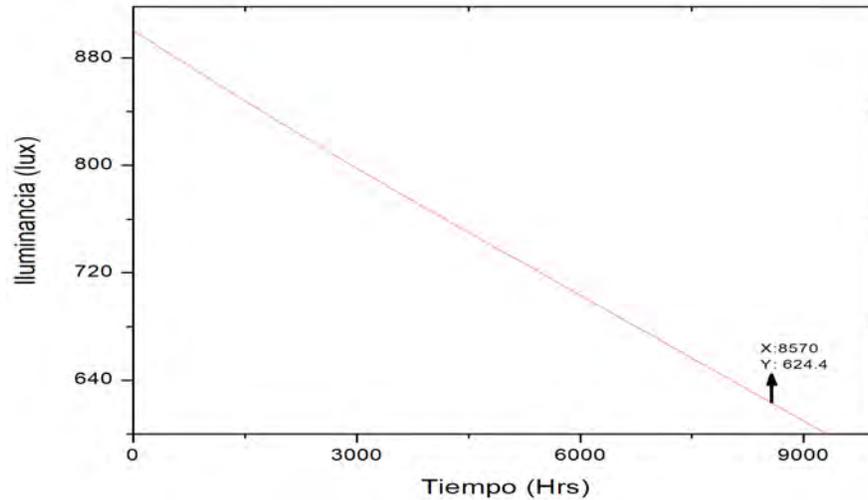
**Figura 3.52.** Curva de depreciación del flujo luminoso en (lux) de la lámpara LED BULB 12W.

En la lámpara LED BULBO de 12W, comenzó ofreciendo con un flujo luminoso de 892 lux, y entre mil doscientas (1.200) y mil cuatrocientas (1.400) horas comenzó con un decrecimiento notable hasta llegar a 765 lux.



**Figura 3.53.** Curva de depreciación del flujo luminoso en (lux) de la lámpara LED TUBO 9W

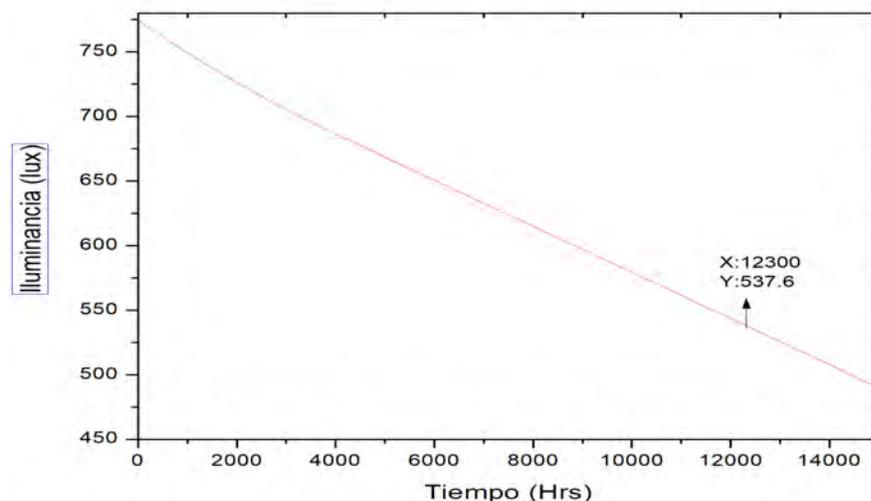
Viendo que la vida media de las lámparas LED se encuentran por encima del periodo de estudio fijado para esta investigación, se prosiguió a trabajar con el software ORIGIN, para encontrar la tendencia de la curva de depreciación y poder diagnosticar el tiempo de su vida útil, de todas las lámparas LED en estudio.



**Figura 3.54. Curva de depreciación proyectada de la lámpara LED Bulbo 12W.**

El procedimiento consistió en: primero, se tomaron las medidas recogidas de iluminancia por el luxómetro hasta la semana veintiséis (26), y se graficaron en ORIGIN, a continuación, se hizo una tendencia para poder proyectar de forma exponencial la vida útil de todas las lámparas LED, poder estimar hacia un valor muy parecido al real.

Como se puede apreciar en la figura 3.54, la proyección que se obtiene de la depreciación de la lámpara LED BULBO, tiene una vida útil de 8.570 horas, con una intensidad de luz de 624 Lux, que es el 30% del flujo luminoso inicial, este valor difiere con la vida útil dicha por el fabricante.



**Figura 3.55. Curva de depreciación proyectada de la lámpara LED TUBO 9W**

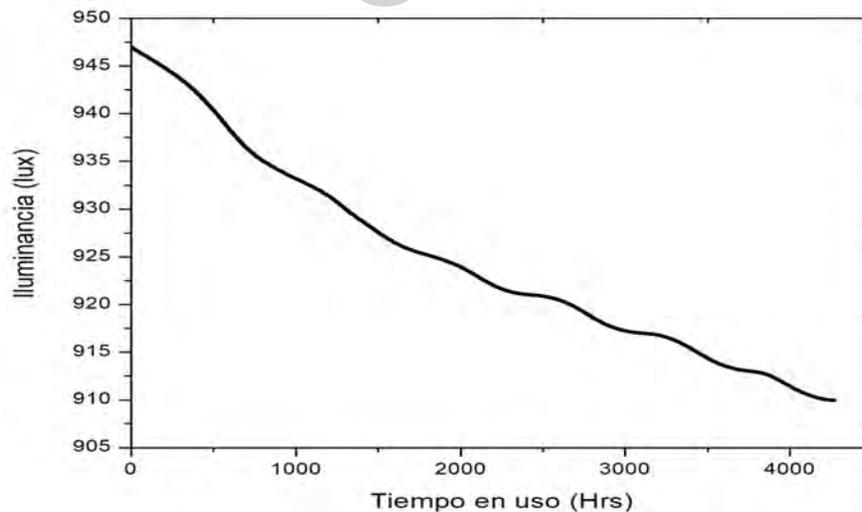
En la figura 3.55, se puede observar que la lámpara LED TUBO 9W cuenta con una tendencia

a una vida útil de 12.300 horas, y una iluminancia en lux de 537, donde representa una descendencia del 30% del flujo inicial, donde se ve que estas horas son casi cercanas a la vida media que el fabricante describe en estas lámparas.

### 3.7 EFECTOS DEL APAGADO EN LA VIDA ÚTIL DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO

En esta experiencia se quiere investigar la vida útil de las lámparas LED, bajo los efectos del reencendido, y observar como es el comportamiento del flujo luminoso. Para el análisis se utiliza los mismos instrumentos y el mismo montaje experimental del apartado anterior.

Para el encendido y el apagado de las lámparas se hizo a través del programa elaborado en LABVIEW donde una de las lámparas LED de tipo BULBO 12W y otra de tipo TUBO 9W, cumplan un ciclo de encendido y apagado por intervalo de 2 horas para cada condición durante el periodo de su estudio. Es importante destacar que es el comportamiento más cercano al uso que se tiene con estas iluminarias, ya que normalmente en las oficinas y en lugares residenciales no se mantienen encendidas todo el día.



**Figura 3.56.** Curva de depreciación del flujo luminoso en (lux) del reencendido de la lámpara LED BULBO 12W.

A continuación, en la tabla 3.12 se muestran las mediciones correspondientes al estudio realizado.

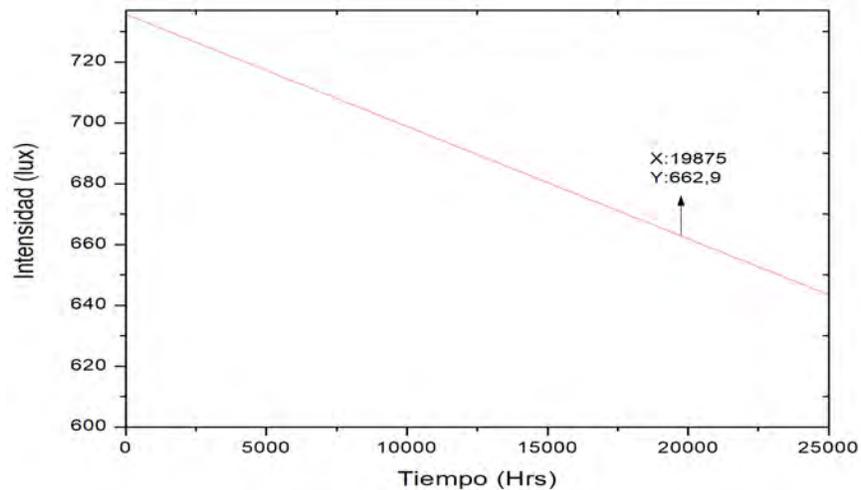
Tabla 3.12. Mediciones de iluminancia con reencendidos de cada una de las lámparas en estudio

| LAMPARAS LED        |                     |                   |
|---------------------|---------------------|-------------------|
| Tiempo de uso (Hrs) | Bulbo LED 12W (lux) | TUBO LED 9W (lux) |
| 0                   | 947                 | 735               |
| 191                 | 945                 | 734               |
| 359                 | 943                 | 733               |
| 526                 | 940                 | 733               |
| 742                 | 935                 | 733               |
| 1.174               | 932                 | 732               |
| 1.294               | 930                 | 732               |
| 1.468               | 928                 | 732               |
| 1.630               | 926                 | 731               |
| 1.846               | 925                 | 731               |
| 2.014               | 924                 | 729               |
| 2.182               | 922                 | 729               |
| 2.350               | 921                 | 728               |
| 2.518               | 921                 | 728               |
| 2.686               | 920                 | 727               |
| 2.854               | 918                 | 727               |
| 3.022               | 917                 | 726               |
| 3.190               | 917                 | 726               |
| 3.350               | 916                 | 725               |
| 3.526               | 914                 | 725               |
| 3.694               | 913                 | 723               |
| 3.862               | 913                 | 723               |
| 4.030               | 911                 | 723               |
| 4.198               | 910                 | 722               |
| 4.270               | 910                 | 722               |

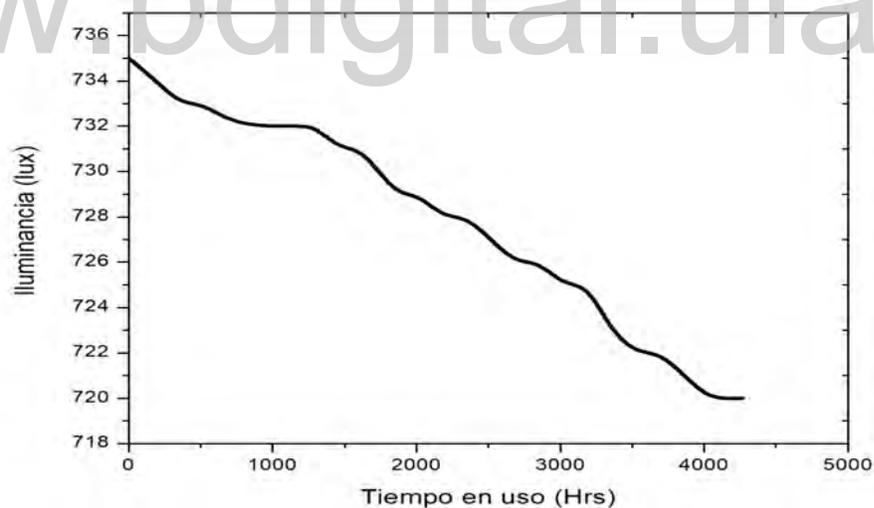
Como se observa, al igual que en el estudio anterior la vida media de las lámparas LED está por encima del periodo de estudio fijado para esta investigación, se hizo el mismo procedimiento de la experiencia anterior, para encontrar las curvas.

Como se aprecia en la figura 3.56 la lámpara LED BULBO de 12W no se ve afectada por el reencendido de la misma, ya que su vida útil no disminuye de manera alarmante

comparada con la vida útil encontrada en el análisis anterior, donde permanecían todo el tiempo encendidas. El valor proyectado de la vida útil con este tipo de reencendido se ubicó en las 19.875 horas con una iluminancia de 663 lux como se logra ver en la figura 3.57.



**Figura 3.57.** Proyección de la curva de depreciación del flujo luminoso del reencendido de la lámpara LED BULBO 12W



**Figura 3.58.** Curva de depreciación del flujo luminoso del reencendido de la lámpara LED TUBO 9W.

Para la lámpara LED TUBO 9W, tampoco se ve afectada por el encendido y apagado, tiene una proyección de 22.906 horas y una iluminancia de 514 lux. Se puede apreciar en esta experiencia de reencendido, que estas lámparas LED en estudio, no se ven afectadas por el reencendido y se acercan a la vida útil descrita por los fabricantes.

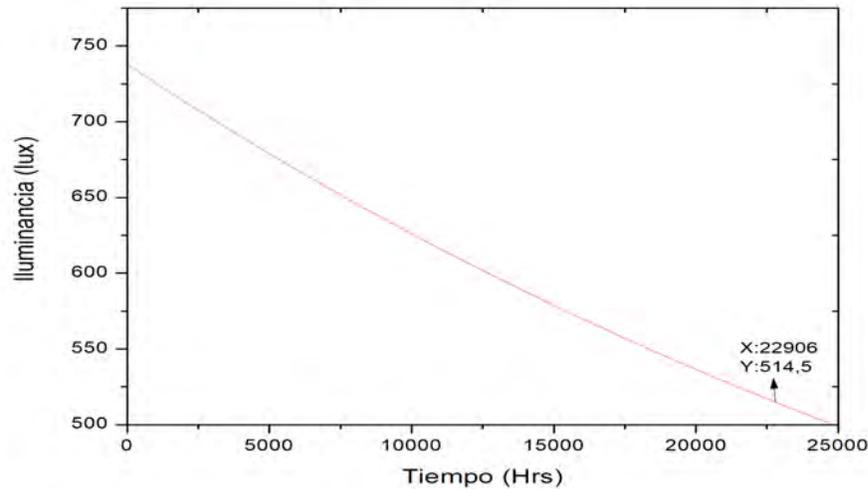


Figura 3.59. Proyección de la depreciación del flujo luminoso en (lux) del recendido la lámpara LED TUBO 9W.

### 3.8 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO

El análisis técnico económico de las lámparas LED es muy importante, ya que estos cálculos permiten verificar la eficiencia de la luminiscencia que genera estos tipos de lámparas versus el gasto energético que se produce. Actualmente los precios que están en el mercado son acordes a esta nueva tecnología que se está implementando.

Este estudio se realizó a través de los parámetros del cálculo de la materia de Ingeniería Económica, donde se abarcó y se aplicaron una serie de fórmulas sobre el concepto de CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente), que consiste en convertir todos los ingresos y egresos en una serie uniforme de pagos, otros conceptos que cabe destacar y serán utilizados como lo son la tasa de interés efectiva, valor presente, costo anual, entre otros.

Para realizar los cálculos matemáticos en este análisis económico, también se requiere determinar distintos parámetros como lo son: costo inicial de cada tipo de lámpara en estudio, la vida útil obtenida del montaje experimental, tarifa por consumo de energía empleada por la compañía de suministro eléctrico del país CORPOELEC (Corporación Eléctrica Nacional), que es de Residencia General (T-02) donde es un consumo menor a las 500 KWh/mes. Los primeros 100 KWh/mes tiene un costo de 0,0027(\$/KWh), la potencia consumida (esto se

determinó en la experiencia 3.2), y la tasa de interés usada por el banco central de Venezuela que es del 24 % anual.

Algunas de las fórmulas que se utilizaran son las siguientes:

$$CAUE = A + CA \quad (3.2)$$

Donde,

CA: Costo anual.

A: Costo de la inversión.

Es importante destacar que el estudio fue realizado en un periodo de tiempo mensual, entonces el costo anual va ser llevado a CMUE (Costo Mensual Uniforme Equivalente) en los estudios realizados.

$$CMUE = A + CM \quad (3.3)$$

Entonces

$$CMUE = A + CM = P * (A/P, i\%, n) + CM \quad (3.4)$$

$$A = P * \frac{1 * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (3.5)$$

Donde,

A: Serie uniforme

P: Valor Presente

n: número de periodos

i: tasa de interés por periodo

La tasa de interés efectiva se calcula para un periodo determinado a través de la siguiente fórmula:

$$im = (1 + i)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (3.6)$$

- i: Tasa de interés efectiva por año  
 im: Tasa de interés efectiva mensual  
 n: número de meses en un año.

Para hacer el estudio sobre análisis de costo anual de cada lámpara se tomará en cuenta varios factores, donde se debe acotar que el costo anual fue llevado a costo mensual.

$$CA = P * TP * N * n \quad (3.7)$$

Donde,

CA: Costo mensual

P: Potencia en W

TP: Tarifa de pago CORPOELEC

N: Número de horas diarias de funcionamiento

n: Número de días al mes.

Tabla 3.13. Precios actuales y costos mensuales de funcionamiento para lámparas LED

| LAMPARAS LED                |                            |                         |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|
|                             | BULBO LED<br>12W<br>(Lux)\ | TUBO LED<br>9W<br>(Lux) |
| Costo Inicial (\$)          | 14,35                      | 30,02                   |
| Vida Útil (Mes)             | 28                         | 32                      |
| Horas encendidas<br>diarias | 12                         | 12                      |
| Potencia (W)                | 12                         | 9                       |
| KWh/Mes                     | 4.32                       | 3.24                    |
| Costo Mensual (\$)          | 0,0117                     | 0,00875                 |

La tasa de interés efectiva mensual se calcula a partir de la ecuación 3.6 utilizando la tasa de interés empleada actualmente en el país la cual es de 24 % anual y efectiva.

$$im = (1 + 0,24)^{\frac{1}{12}} - 1$$

$$im = 1,81 \%$$

Con el valor de la tasa de interés efectiva y los valores tabulados anteriormente se obtiene el CMUE a través del siguiente procedimiento:

■ **CMUE de la lámpara LED BULBO 12W intermitente**

$$CMUE = 14,35 * \left[ \frac{(1+0,018)^{28} * 0,018}{(1+0,018)^{28} - 1} \right] + 0,0117$$

**CMUE= \$0,67**

■ **CMUE de la lámpara LED TUBO 9W intermitente**

$$CMUE = 30,02 * \left[ \frac{(1+0,018)^{32} * 0,018}{(1+0,018)^{32} - 1} \right] + 0,00875$$

**CMUE= \$1,25**

**Tabla 3.14. Costo Mensual Uniforme Equivalente de las lámparas LED**

| <b>LAMPARAS LED</b> |                                |                              |
|---------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                     | <b>Bulbo LED 12W<br/>(lux)</b> | <b>TUBO LED 9W<br/>(lux)</b> |
| <b>CMUE (\$)</b>    | 0,67                           | 1.25                         |

Tomando en cuenta que las variaciones y ajustes económicos en los cuales se encuentra el país, por la dinámica financiera nacional, es importante recalcar la inestabilidad de las variables determinadas mediante el análisis económico, por lo que se considera imprescindible llevar a cabo un estudio de sensibilidad, bien sea por las fluctuaciones de las variables o por posibles errores de apreciación.

En el análisis de sensibilidad se aplica a la tasa de interés y a la tarifa de cobro emitida por la compañía encargada del suministro eléctrico nacional CORPOELEC ambos parámetros bajo un rango de variación de porcentaje de 50 % por debajo del valor y 50 % sobre el mismo valor. Las representaciones gráficas se muestran en las siguientes figuras.

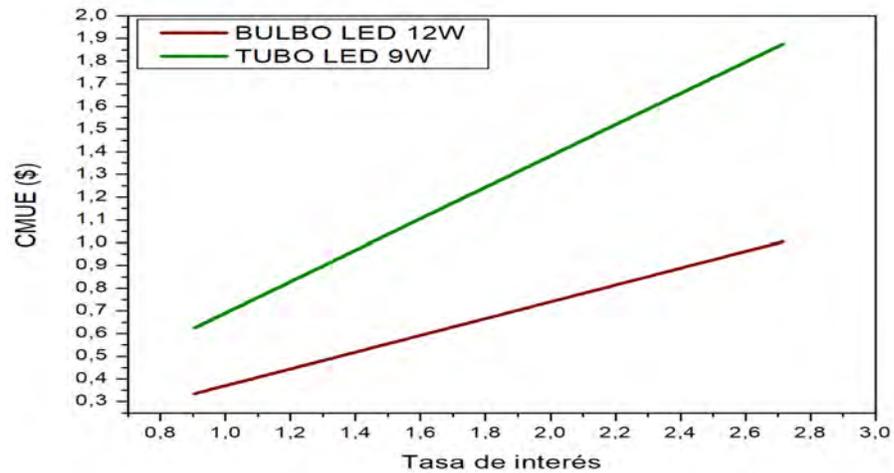


Figura 3.60. Análisis de sensibilidad variando la tasa de interés.

Por medio de estas dos figuras se puede demostrar que el análisis no es sensible ni a variaciones del valor de la tasa de interés, ni al costo de la energía, debido a la diferencia que existe de acuerdo a las tarifas de pago, esto se debe a que el cobro de la energía eléctrica es económico.



Figura 3.61. Análisis de sensibilidad variando la tarifa de pago.

Es importante resaltar que el análisis de sensibilidad se realiza generalmente comparándola con otras tecnologías en el mercado, para comprobar que, aunque las lámparas LED sean costosas adquirirlas inicialmente, su larga vida útil permite amortizar su costo inicial.

Por otro lado, cabe destacar que este estudio está representado solamente en lámparas LED, se hizo un análisis de estas lámparas, llegando a la conclusión que no son sensibles, porque a pesar de las variaciones resulta más económica la lámpara LED tipo BULBO.

# CAPÍTULO 4

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se realizarán comparaciones entre las lámparas LED que se sometieron a estudios, tomando en cuenta los resultados adquiridos en el capítulo tres (3), mediante gráficos y tablas comparativas, para así lograr un análisis sobre estos tipos de lámparas LED aplicadas al uso residencial y comercial, y ver las ventajas y desventajas de adquirir esta tecnología.

### 4.1 COMPARACIÓN DE LOS ARMÓNICOS EMITIDOS POR CADA UNA DE LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO A LA RED

En esta experiencia se pudo adquirir con éxito la lectura de los armónicos por las lámparas LED sometidas a este estudio mediante un osciloscopio. En el capítulo anterior se ven los procedimientos y los resultados obtenidos para esta experiencia.

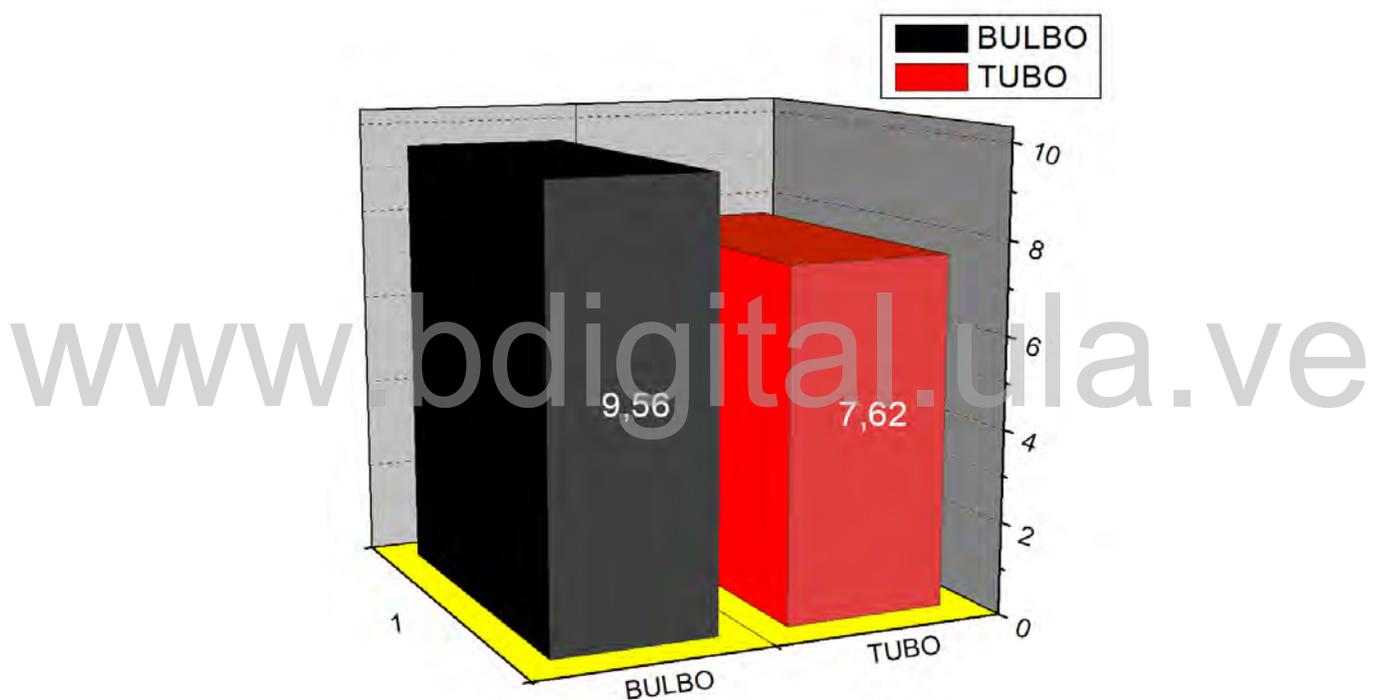
Por lo tanto, un efecto de la iluminación de las lámparas LED sobre la calidad de energía son los armónicos en la red. Como se observa las lámparas LED que se sometieron a estudios generan un nivel relativamente alto de distorsión armónica en la corriente. Por ejemplo, en el caso de las lámparas LED tipo BULBO representa una distorsión armónica de corriente de 27,50 %, es un porcentaje alto para cada lámpara, ya que si en nuestros hogares, oficinas, o sitios de trabajos, se tiene varias lámparas LED, hay un impacto de forma negativa en la red eléctrica, causando problemas de sobrecalentamiento, daños de equipos electrónicos que estén conectados a la misma red.

Ya que las lámparas LED son más eficientes que las lámparas incandescentes y las lámparas fluorescentes, las industrias deben fortalecer sus tipos de convertidores o filtros, como el

caso de la lámpara LED tipo TUBO que representa un distorsión armónica de corriente de 6,44 %, esto aporta a que la eficiencia energética sea más conveniente para el sistema energético y no produzca efectos nocivos a los componentes de las redes eléctricas.

## 4.2 POTENCIA DE CONSUMO DE CADA UNA DE LAS LÁMPARAS LED

Mediante los análisis experimentales del consumo de potencia de las lámparas LED, efectuado y mostrados en el capítulo anterior se establecen las siguientes comparaciones:



**Figura 4.1.** Comparación entre la Potencia Activa (W) de las lámparas LED estudiadas.

Al comparar los gráficos en la figura 4.1 se puede decir que el valor de 9,56 W, representado en la primera columna corresponde a la lámpara BULBO LED CLASSIC LUX, y la lámpara TUBO LED IKATALED, que arroja un valor de 7,65 W. Claramente muestran un mínimo consumo de Potencia Activa que necesitan estas lámparas para poder iluminar.

Al observar la figura 4.2 se observa el valor de 11,5 VA, representado por la lámpara BULBO LED CLASSIC LUX, y la lámpara TUBO LED IKATALED, con un valor de 8,28 VA.

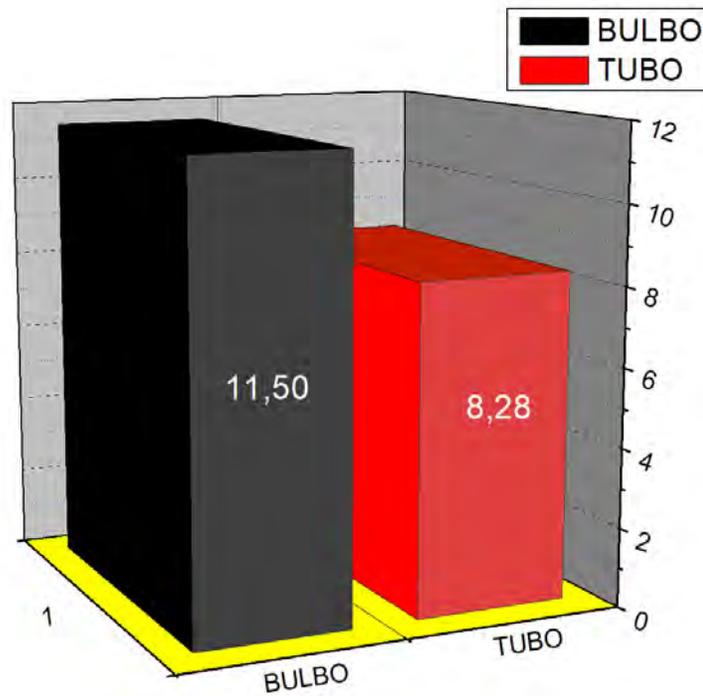


Figura 4.2. Comparación entre la Potencia Aparente (VA) de las lámparas LED.

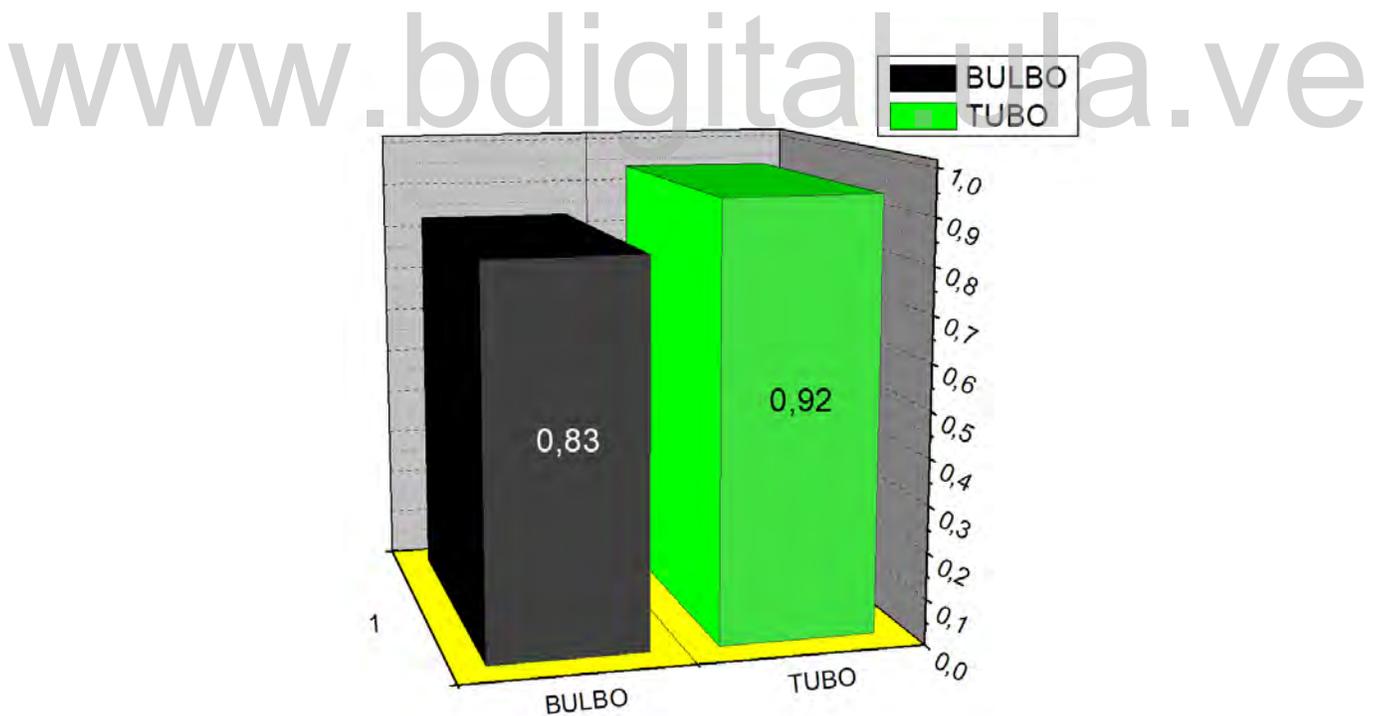
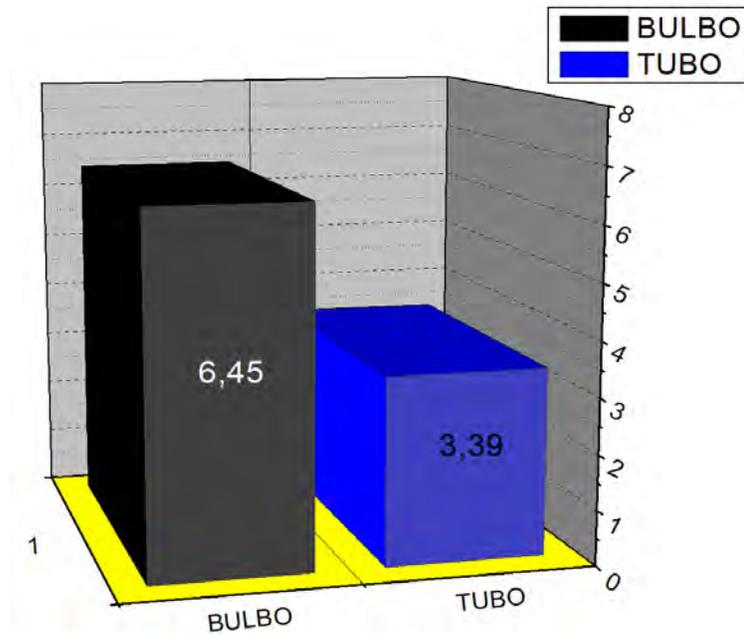


Figura 4.3. Factor de Potencia de las lámparas LED estudiadas.

En cuanto los factores de potencia observados en la figura anterior, se observa que la lámpara LED tipo TUBO, tiene un valor de 0,92 que es muy bueno porque está cercano a la unidad, en relación a la lámpara tipo BULBO que es de 0,83, no es el ideal, pero sí influye en que esta

Reconocimiento-No comercial- Compartir igual

lámpara desaprovecha más la energía, y es menos eficiente que la lámpara de tipo TUBO LED.



**Figura 4.4. Potencia Reactiva (VAR) de lámpara LED estudiadas.**

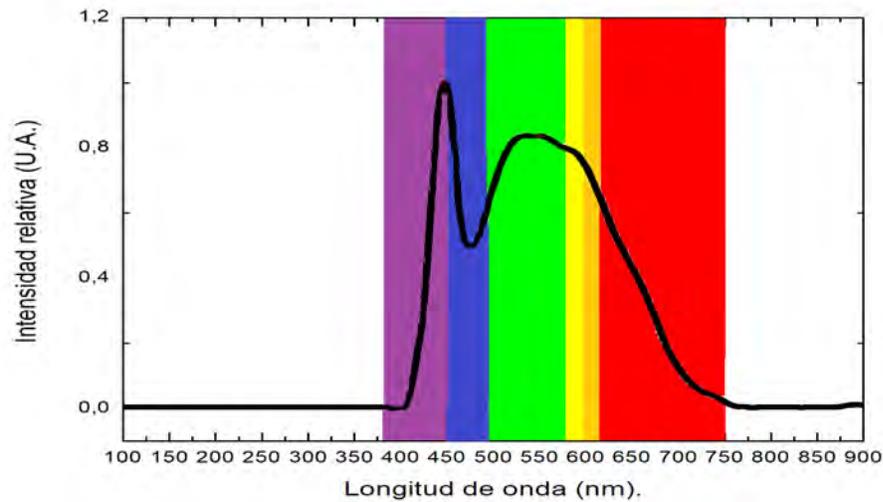
Debido a que los factores de potencia de ambas lámparas LED son relativamente altos, las potencias reactivas son aceptables, esta potencia es la que no se aprovecha directamente por los receptores que produce un consumo suplementario de energía, y viene expresada en unidad (VAR).

### 4.3 COMPARACIONES MEDIANTE EL ESPECTRO LUMINOSO DE LAS LÁMPARAS LED EN ESTUDIO

Mediante los datos adquiridos a través del Espectrofotómetro utilizado para lograr el estudio del espectro luminoso, se lograron ver las curvas que caracterizan a las lámparas LED. Los rangos se encuentran dentro de los rangos visibles por el ojo humano.

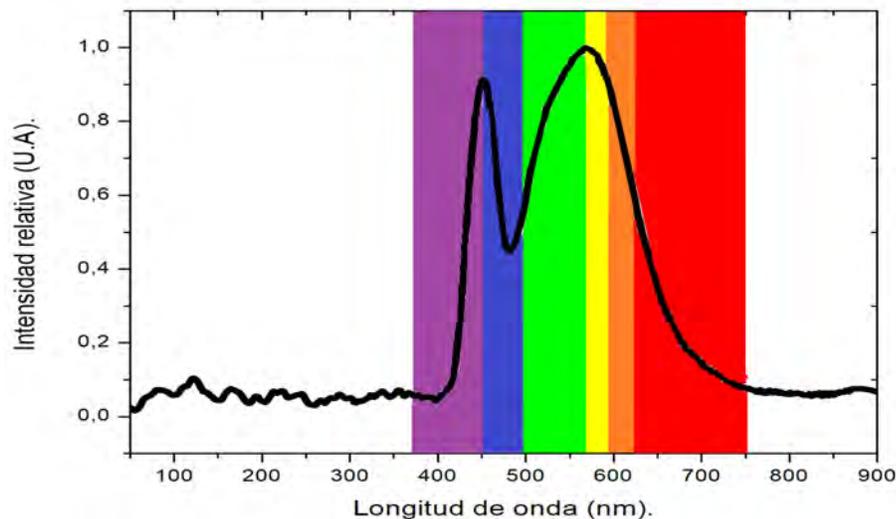
Las lámparas LED presentan emisiones de luz en el rango visible desde 380 a 700 nanómetros, donde abarca la mayoría de los colores del arcoíris, desde el violeta hasta tonalidades suaves del rojo, tiene un máximo pico alrededor de los 445 nanómetros, lo que representa el color azul cobalto, donde también se les dicen a estas lámparas cuando tienen este pico que son

de luz fría.



**Figura 4.5. Distribución del espectro óptico de las lámparas BULBO LED 12W.**

En el caso del Tubo LED 9W, cumple con la misma condición que la lámpara tipo BULBO 12 W, pero como se observa en la figura 4.6 tiene un caso particular, la curva hace su pico característico del espectro del LED en 447 nanómetros, pero su máximo pico esta a los 550 nanómetros, en decir en el medio del rango de longitud de onda, es decir que a este tipo de luminarias se le llaman luces neutras.



**Figura 4.6. Distribución del espectro óptico de las lámparas TUBO LED 9W.**

En virtud de los resultados, se comprueba que las lámparas LED tanto de BULBO 12W, como la de tubo 9W, presentan un espectro óptico Continuo o no Lineal, ya que la luz se dispersa por toda la longitud de onda exceptuando los rangos ultravioletas e infrarrojos.

#### 4.4 COMPARACIONES MEDIANTE LA VIDA ÚTIL Y LA CURVA DE DEPRECIACIÓN DEL FLUJO DE LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO

Mediante los datos recolectados en esta experiencia, se elaboraron medidas necesarias para calcular las curvas de la vida útil y de depreciación luminosa de ambas lámparas LED.

A continuación, en la figura 4.7 se muestran las curvas utilizadas para observar el comportamiento de las lámparas LED.

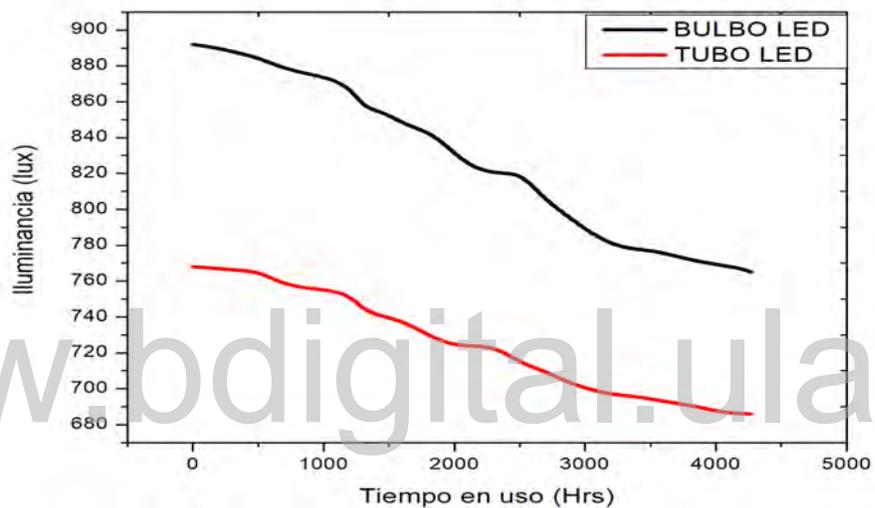


Figura 4.7. Curva de depreciación entre las lámparas BULBO LED 12 W y TUBO LED 9W.

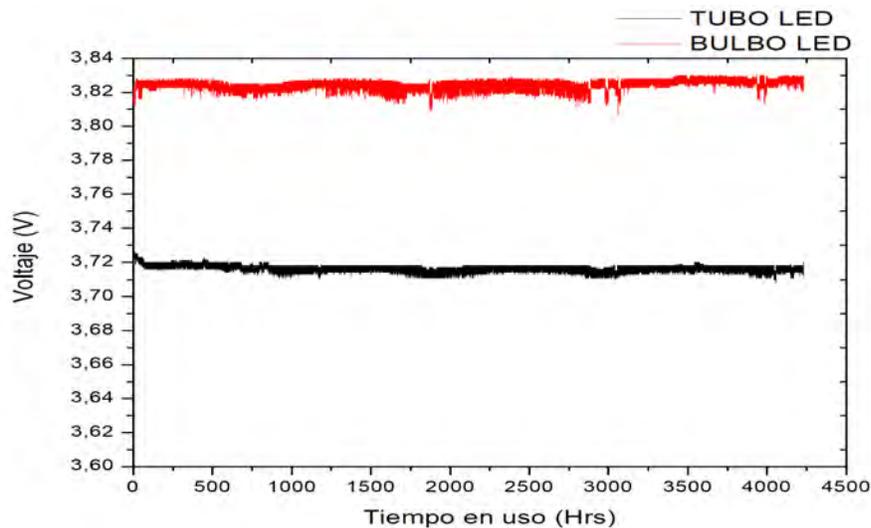


Figura 4.8. Depreciación de voltaje entre las lámparas BULBO LED 12 W y TUBO LED 9W.

Como se observa en las figuras anteriores la lámpara LED BULBO 12W comienza con una iluminancia de 892 lux, y en la lámpara LED TUBO 9W con 768 lux, se observa que la pendiente con la que baja la lámpara tipo BULBO es más elevada y la de tipo TUBO es más constante. No obstante, cabe destacar que, debido al tiempo en ambas lámparas, no lograron descender hasta su valor crítico que es un 30 % por debajo del valor inicial.

A través de la herramienta computacional ORIGIN, se hizo una tendencia donde la lámpara tipo BULBO LED demuestra que tiende a contar con una vida útil de 8.570 horas de uso aproximadamente, y en la de tipo TUBO LED es de 12.300 horas.

#### 4.5 COMPARACIONES SOBRE LOS EFECTOS DEL APAGADO Y ENCENDIDO EN LA VIDA ÚTIL DE LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO.

De lo expuesto en la experiencia anterior, y mediante los datos recolectados a partir del montaje experimental, se hizo el mismo estudio de la vida útil, pero con un factor de encendido y apagado previamente explicado.

En las figuras que están a continuación se denotan los resultados para las lámparas que se mantuvieron encendidas todo el tiempo y las que estuvieron reencendidas en este estudio.

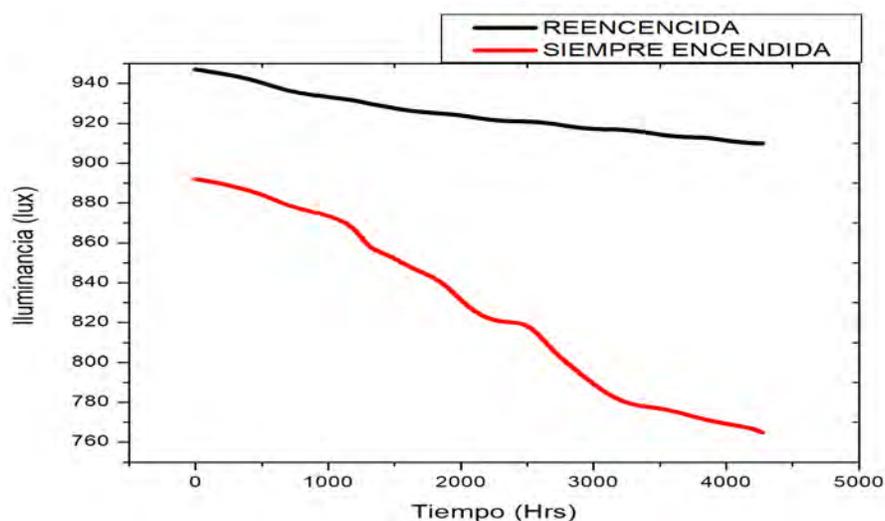
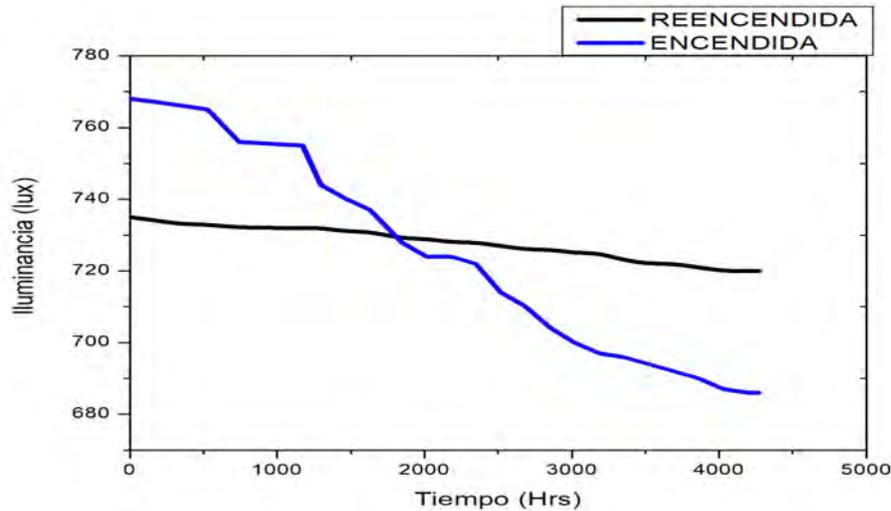


Figura 4.9. Efectos del reencendido en la lámpara BULBO LED 12 W

En este estudio, las lámparas no están encendidas todo el día, se enciende y se apagan

cada dos horas donde este funcionamiento es el que tiene más similitud con el uso diario en nuestros hogares, locales comerciales, oficinas, donde el encendido no permanece constante.



**Figura 4.10. Efectos del reencendido en la lámpara TUBO LED 9W.**

En las Figuras 4.9 y 4.10 se observa ambos periodos de estudios, uno encendido permanentemente y otro con reencendido, donde se logra mantener la misma tendencia, donde en el tiempo de estudio no llegó al 30% de su depreciación luminosa.

En consecuencia, el mantener las lámparas LED encendidas las 24 horas al día afecta de manera notable la depreciación del flujo luminoso, esto es debido a que el funcionamiento continuo y las variaciones de tensión que sufre estas lámparas, afectan lentamente los módulos LED y el driver.

#### **4.6 COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS LÁMPARAS LED**

Para este análisis sobre las características técnico económicas de las lámparas LED, se estudió bajo parámetros matemáticos en el área de Ingeniería Económica, el método CMUE, permite la elección de la mejor propuesta de acuerdo al menor costo económico, tomando en cuenta que se manejan vidas económicas distintas para las lámparas y es algo fundamental para la aplicación de este método.

Como se puede observar, el costo mensual uniforme equivalente para cada una de las lámpa-

ras LED, fue de \$0,67 para la lámpara tipo BULBO LED, por 28 meses que es la proyección de la vida útil de este tipo de lámpara, y \$1,25 para la lámpara tipo TUBO LED, este costo sería por los 32 meses de la proyección de esta lámpara.

El costo resultante de esta tecnología de lámparas LED, es menor comparado con otras tecnologías en el mercado con características similares. Ejemplo de esto, un tubo fluorescente T8 de 17W que es el equivalente al TUBO LED de 9W, su costo inicial es de \$12,91, con una vida útil aproximadamente de 12 meses, teniendo un costo mensual equivalente de \$4,68, comparado con los \$1,25 del tubo LED por 32 meses. Por ende, se observa que a medida que pasa el tiempo son más económicas.

De la misma manera, se hizo los cálculos de una lámpara incandescente de 75W, que es el equivalente de la lámpara tipo bulbo LED de 9W, donde su costo inicial es de \$1,92, con un tiempo de vida útil de 3 meses, lo que equivale a un costo mensual equivalente de \$1,40. Por lo tanto, tomando en cuenta el menor CMUE para este análisis, las lámparas LED, se colocan en una posición favorable con respecto a las lámparas incandescentes y tubos fluorescentes.

## **4.7 ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LÁMPARAS EN ESTUDIO**

Dentro de este marco se hará un repaso acerca de las ventajas y desventajas de las lámparas LED, en base a los estudios realizados.

### **4.7.1 Ventajas**

las lámparas LED tienen como ventajas:

- Bajo consumo de potencia, como se explicó anteriormente este tipo de iluminación es la que tiene mayor ahorro energético.
- Presenta un factor de potencia cercano a la unidad.
- Corrientes de consumo relativamente bajas.

- No generan tanto calor como las tradicionales con el consiguiente ahorro en climatización.
- Espectro luminoso continuo.
- No hay emisiones de radiaciones ultravioletas.
- Altas emisiones de las radiaciones más sensibles para el ojo humano.
- Amplio espectro cromático.
- Brillante saturación cromática, este tipo de iluminación alcanza niveles de saturación más altos que las lámparas convencionales.
- Este tipo de lámparas tienen una vida útil más larga que las otras existentes en el mercado.
- Encendido inmediato.
- 100 % del flujo luminoso tras el encendido.
- Mantenimiento del Flujo Luminoso sobre el 70 % original durante su vida útil.

#### 4.7.2 Desventajas

- La principal desventaja de esta tecnología es su elevado costo, sin embargo, cada día se vuelven más asequibles.
- La eficiencia y la vida útil de este tipo de lámparas depende directamente de la temperatura de trabajo.
- La luz azul utilizada para obtener algunas iluminaciones, como la blanca, es altamente contaminante y puede generar daños sobre el ojo humano.
- Mayor valor del CMUE.
- Emiten muchos armónicos a la red.

## CONCLUSIONES

En la actualidad la mayoría de países en el mundo están apostando por la tecnología LED, debido a como se ha visto en esta investigación, representa grandes ventajas en cuanto al consumo energético, calidad de luz en la iluminación, buena distribución fotométrica, y una larga vida útil. Los resultados arrojados se observan que esta nueva tecnología LED que se presenta es la solución para obtener la iluminación más eficiente en el mercado, para brindar en las zonas residenciales, oficinas, entre otras cosas a nuestros alrededores.

Por ello al verificar los parámetros luminotécnicos de las lámparas LED, se puede constatar que presenta características enfocadas al ahorro energético, larga duración, es ecológica, ayuda a mantener el medio ambiente, donde presenta un bienestar a todos los usuarios que adquieren esta tecnología. Además, se puede decir que esta tecnología LED tiene un valor de comparación alto con los precios de las lámparas convencionales, donde su mayor ventaja es el promedio de la vida útil, donde con un buen mantenimiento y este en las condiciones ambientales favorable pueden hasta triplicarse con el tiempo, su consumo puede estar entre 60 y 80 % menos de electricidad, lo cual permite amortiguar la inversión en el tiempo haciendo una inversión segura y rentable.

Una de las desventajas que tienen estas lámparas LED es la distorsión de los armónicos en la red, donde se espera mejorar estas distorsiones. Una de las soluciones es obtener un prototipo de filtro, con el fin de obtener una onda de tensión y corriente sinusoidal, reducir el THD, y mejorar el factor de potencia de esta tecnología LED.

En Venezuela debido al problema energético, a las variaciones de tensión, hace que las bombillas convencionales se quemen y estas fluctuaciones hace que tenga que reemplazar por unas nuevas bombillas, en cambio estas lámparas LED son multivoltajes donde pueden soportar tensiones desde 100 hasta 240 VAC.

## RECOMENDACIONES

- Gracias a los parámetros analizados en este estudio, se sugiere la adquisición de esta nueva tecnología, revelando beneficios al usuario como son: fiabilidad, eficiencia y mejor relación tiempo-coste. Además, de ofrecer una alternativa ecológica, en comparación con las lámparas incandescentes y fluorescentes.
- Las emisiones de armónicos de corriente, en especial del 3er orden que se inyectan a la red, representan una dificultad en el correcto funcionamiento del sistema de lámparas LED. Por tal motivo, se propone la implementación de filtros o dispositivos durante su fabricación, que atenúen dicho conflicto.
- Al adquirir lámparas LED, se debe de examinar factores como: el ángulo de apertura, definido como el espacio o la distribución que van a iluminar, la potencia y los lúmenes, que representa aquella luminosidad que provee la lámpara. Asimismo, el tono de luz o temperatura de color, que proporciona al usuario diferentes matices, dependiendo de la situación o el ambiente que desea originar. De esta manera, el tono de luz cálida, crea ambientes acogedores causando bienestar y se recomienda entre 3.000 a 3.500K. El tono de luz neutra, da una apariencia similar a la luz del sol de la mañana, utilizando entre 4.000 a 5.000K. Finalmente, el tono de luz fría, levemente azulada, produce la mejor eficiencia lumínica, manejando entre 6.000 a 6.500K.

## REFERENCIAS

- [1] L. Moreno, *Luminotecnia el arte de la correcta iluminación*, 3ra edición. Venezuela: Publicaciones ULA, 2018.
- [2] V. Arne, *Light, vision, color*, 1ra edición, J. W. . Sons, Editor. Willey, 2005.
- [3] F. Horst, “Espectro electromagnético,” [https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_visible](https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible), Octubre 2018.
- [4] G. Harper, *El ABC del alumbado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*. Limusa Noriega Editores, 2004.
- [5] J. Monedero, *Simulación visual de la iluminación*. España: Universitat Politecnica de Catalunya, 2015.
- [6] “Lampara incandescente,” <http://eltekblog.blogspot.com/2009/11/receptores.html>, julio 2018.
- [7] P. Bastidas, *Electrotecnia*. Akal, 2000.
- [8] S. Ruiz, “Reemplazo de lámparas: disminución de consumo,” <https://constructorelectrico.com/remplazo-de-lamparas-disminucion-del-consumo/>, Julio 2018.
- [9] J. Martin, *Instalaciones Eléctricas y Domóticas*. Editex, 2018.
- [10] “Tubo led,” <http://www.bombillasconled.com/productos/tubo-led-t5-18w-115cm-81>, Julio 2018.
- [11] “Como elegir una bombilla led para ahorrar en la factura de luz,” <https://www.xataka.com/especiales/como-elegir-una-bombilla-led-para-ahorrar-en-la-factura-de-la-luz>, Julio 2018.

- [12] A. Leon, "Lightig," Tesis de Maestría, Atlantic International University, Honolulu, Hawaii, 2007.
- [13] "Ledycia," <https://www.ledycia.com/blog.htm>, Julio 2018.
- [14] J. Rosner, "Equivalencia lumen a vatios tubos fluorescentes," <http://www.llumor.es/info-led/equivalencia-lumen-a-vatios-tubos-fluorescentes>, Julio 2018.
- [15] A. Gago y J. Fraile, *Iluminación con tecnología LED*. Nobel, 2012.
- [16] "Els receptors," <https://sites.google.com/site/electricitat4rt/els-recepto>, Julio 2018.
- [17] "badalonaled," [https://www.badalonaled.com/es/blog/6\\_equivalencias-potencia-w-led-vs-convencionales.html](https://www.badalonaled.com/es/blog/6_equivalencias-potencia-w-led-vs-convencionales.html), Julio 2018.
- [18] "Vida y mantenimiento del flujo luminoso," <http://www.megamanelectrica.com/vida-y-mantenimiento-del-flujo-luminoso.html>, Julio 2018.
- [19] "Diferencia entre luminarias led smd, led cob y microled," <http://www.soluciones-led.com/diferencias-entre-luminarias-led-smd-led-cob-y-microled-con-cual-me-quedo-cual-es-mejor/prettyPhoto>, Julio 2018.
- [20] "Led dip," <https://www.indiamart.com/proddetail/dip-led-14088329491.html>, Julio 2018.
- [21] A. Llamas, A. Acevedo, J. De los Reyes, y J. Baez, *Armónocas en sistemas eléctricos industriales*, 5ta edición. Mexico: Innovación Editorias Lagares Mexico, 2013.
- [22] "Tubo ikataled," <https://www.veneled.com/wp-content/uploads/2016/05/IKATALED-CATALOGUE-2016-compressed.pdf>, Noviembre 2018.
- [23] "Espectrofótopmetro," <https://es.scribd.com/document/381811267/Monocromadores-y-Principio-de-Funcionamiento-Danna-Villca-Centellas>, Noviembre 2018.
- [24] "Esquema general," <https://community.asdlib.org/imageandvideoexchangeforum-2013-07-29-single-beam-spectrophotometer/>, Noviembre 2018.

- [25] A. Garcia y X. Alabern, *Instalaciones eléctricas de acuerdo con el REBT del RD 842/2002*. España: UOC, 2005.
- [26] T. Khanh, Q. Bodrogi, y H. Winkler, *LED Lighting*. Alemania: Wiley-Vch, 2015.
- [27] W. Diewald, <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/15/10/a10.pdf>, 2004.
- [28] M. Briñón, “Diseño de iluminación de alta eficiencia en el proyecto micro-red de la universidad pontífica bolivariana,” Tesis de Maestría, Universidad Pontífica Bolivariana, 2015.

www.bdigital.ula.ve

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

CAUE: Costo Anual Uniforme Equivalente.. 64

CMUE: Costo Mensual Uniforme Equivalente.. 65, 67, 76, 77

COB: *Chip On Board*.. 20

CORPOELEC: Corporación Eléctrica Nacional.. 64, 66, 67

IRC: Índice de Reproducción Cromática.. 15, 20

LED: Diodo Emisor de Luz (*Light Emitting Diode*).. v, vi, x, 1–6, 10–24, 26, 28, 29, 31, 32, 35, 36, 39–41, 44, 46–49, 51–54, 57, 59, 63, 64, 68–77, 79, 80

MCOB: *Multi Chip On Board*.. 20

PCB: *Printed Circuit Board*.. 14, 19

SMD: *Surface Mounted Device*.. 19

THD: Tasa de Distorsión Armónica (*Total Harmonic Distortion*). 24, 79