

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN Y CÓMO
AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.**

**NATHALIE LUCIA ALFARO MONTANA
ANDRÉS JAVIER SANTAMARÍA ARIZA**

**DIRECTOR
ING. GABRIEL PERILLA GALINDO**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
BOGOTÁ D.C.
MAYO DE 2012**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN Y CÓMO
AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.**

T.G .1161

AUTORES:

**NATHALIE LUCÍA ALFARO MONTAÑA
ANDRÉS JAVIER SANTAMARÍA ARIZA**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

DIRECTOR:

ING. GABRIEL PERILLA GALINDO

**INGENIERÍA ELECTRÓNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
BOGOTÁ
COLOMBIA
MAYO 2012**

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

RECTOR MAGNÍFICO: P. JOAQUÍN SÁNCHEZ GARCÍA S.J.

DECANO ACADÉMICO: Ing. LUIS DAVID PRIETO MARTÍNEZ

DECANO DEL MEDIO UNIVERSITARIO: P. SERGIO BERNAL S.J.

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA: Ing. JORGE LUIS SÁNCHEZ TÉLLEZ

DIRECTOR DE CARRERA: Ing. JAIRO HURTADO LONDOÑO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO: Ing. GABRIEL PERILLA GALINDO

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Queremos agradecer a nuestros padres quienes con su apoyo incondicional y motivación nos permitieron culminar esta parte de nuestro proceso educativo, a nuestros amigos por su ayuda y buenos consejos y al Ing. Gabriel Perilla por su apoyo, guía y dedicación.

Nathalie y Andrés

Tabla de contenido

Tabla de contenido	6
1. INTRODUCCIÓN	8
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 CONCEPTO CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	9
2.2 FENÓMENOS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA.....	9
2.2.1. TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS – TEM.....	11
2.2.2. VARIACIONES DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN – VTCD.....	12
2.2.3. VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN.	14
3. ESPECIFICACIONES	17
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	18
INDIVIDUALES	18
A. INCANDESCENTES.....	18
B. AHORRADORES	21
C. HALÓGENAS.	24
D. LED	26
E. FLUORESCENTE	29
ARREGLOS.....	32
5. CONCLUSIONES	39
6. BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS.....	41

Listado de tablas.

Tabla 1. Clasificación y Características típicas de los fenómenos electromagnéticos.....	10
Tabla 2. Límites para equipos Clase C [7].....	18
Tabla 3. Mediciones de armónicos de I.....	23
Tabla 4. Mediciones de armónicos de I.....	28
Tabla 5. Tabla comparativa de luminarias individuales.....	31
Tabla 6. Mediciones de armónicos de V.....	34
Tabla 7. Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución (120 V a 69 KV).....	38

Tabla de ilustraciones.

Ilustración 1. Transitorio Impulsivo.....	11
Ilustración 2. Transitorios Oscilatorios.....	12
Ilustración 3. Transitorios de baja frecuencia.....	12
Ilustración 4. Caída de tensión.....	13
Ilustración 5 Subida de Tensión.....	13
Ilustración 6. Formas de onda de luminaria incandescente.....	18
Ilustración 7. Forma de onda de V.....	19
Ilustración 8. Armónicos de V	19

Ilustración 9. Forma de onda de I.....	20
Ilustración 10. Armónicos de I.....	20
Ilustración 11. Formas de onda de luminaria Ahorradora.....	21
Ilustración 12. Forma de onda de V.....	22
Ilustración 13. Armónicos de V.....	22
Ilustración 14. Forma de onda de I.....	23
Ilustración 15. Armónicos de I.....	23
Ilustración 16. Formas de onda luminaria Halógena.....	24
Ilustración 17. Forma de onda V.....	24
Ilustración 18. Armónicos de V.....	25
Ilustración 19. Forma de onda I.....	25
Ilustración 20. Armónicos de I.....	26
Ilustración 21. Formas de onda de luminaria LED.....	26
Ilustración 22. Forma de onda V.....	27
Ilustración 23. Armónicos de V.....	27
Ilustración 24. Forma de onda I.....	28
Ilustración 25. Armónicos de I.....	28
Ilustración 26. Formas de onda de luminaria fluorescente.....	29
Ilustración 27. Forma de onda de V.....	29
Ilustración 28. Armónicos de V.....	30
Ilustración 29. Forma de onda de I.....	30
Ilustración 30. Armónicos de I.....	31
Ilustración 31. I Luminarias Ahorradoras.....	32
Ilustración 32. Armónicos I 1 Ahorradora.....	32
Ilustración 33. Armónicos I 5 Ahorradores.....	33
Ilustración 34. Armónicos I 10 Ahorradoras.....	33
Ilustración 35. V luminarias Ahorradoras.....	33
Ilustración 36. Armónicos V 1 Ahorradora.....	34
Ilustración 37. Armónicos V 5 Ahorradoras.....	34
Ilustración 38. Armónicos V 10 Ahorradores.....	34
Ilustración 39. I luminarias LED.....	35
Ilustración 40. Armónicos I 1 LED.....	35
Ilustración 41. Armónicos I 5 LED.....	36
Ilustración 42. Armónicos I 10 LED.....	36
Ilustración 43. V luminarias LED.....	36
Ilustración 44. Armónicos V 1 LED.....	37
Ilustración 45. Armónicos V 5 LED.....	37
Ilustración 46. Armónicos V 10 LED.....	37

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace algún tiempo se ha tomado conciencia respecto a la calidad de la energía eléctrica. Esto se debe a que el consumo de energía eléctrica crece en la actualidad de forma considerable por el desarrollo de nuevas tecnologías, las cuales a su vez afectan la calidad de la red eléctrica

Calidad de la energía se entiende como la ausencia de interrupciones o deformaciones en la forma de onda, tales como sobre tensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de voltaje y corriente RMS. Es importante resaltar que la calidad de la energía se ve afectada por el uso que se le da a la misma, por lo que, para asegurar unos niveles óptimos de calidad en el suministro, se debe tener en cuenta ciertos criterios en su utilización, tales como la utilización por parte de los consumidores, ya que esto modifica su comportamiento lo cual genera mayor consumo reflejado en la generación y distribución del servicio, haciendo que los generadores trabajen cerca de los límites de su capacidad y aumentando los costos debido a que su mantenimiento debe ser más riguroso.

Los equipos eléctricos y electrónicos como los de iluminación entre otros, pueden funcionar incorrectamente si la energía eléctrica suministrada se interrumpe o varía incluso durante periodos de centésimas de segundo ya que al presentarse estas caídas y subidas de tensión se afecta la calidad de la energía [3]. En el caso de los sistemas de iluminación es importante evaluar las contribuciones a las deformaciones (caídas y subidas de voltaje, picos de corriente al momento de encendido y distorsión armónica, entre otras), de los diferentes tipos de luminarias existentes en el mercado local, ya que estas producen efectos tales como los flickers (encendido y apagado de las luminarias generalmente de tipo fluorescente), los cuales tienen algunos efectos nocivos sobre el ser humano.

Para evitar que se presenten efectos como los mencionados anteriormente se siguen los estándares internacionales, IEC 61000-4-30 y el IEEE 1159-1995.

- El primero define la calidad de la energía o Power Quality como las “características de la electricidad en un punto dado de una red de energía eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia”¹.
- El segundo define la calidad de la energía eléctrica como “una variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un punto determinado de la red eléctrica”².

Teniendo en cuenta estos parámetros, el proyecto se centró en las luminarias, sus efectos sobre la red de suministro de energía eléctrica y cómo dichos efectos se relacionan con la calidad de la energía eléctrica. Dicho análisis se realizó teniendo en cuenta la demanda de corriente y como se afecta la forma de onda de la misma para cada tipo de luminaria con el que se trabajó.

Finalmente estos estudios pueden llevar a que se genere un mayor interés en el área, promoviendo las investigaciones para el desarrollo de soluciones a dicha problemática, así como una nueva normatividad que permita un mejor aprovechamiento de los recursos.

¹IEC 61000-4-30: Testing and Measurement Techniques - Power Quality Measurement Methods.

² IEEE recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (IEEE Std. 1159-1995). Institute of electronic and Electronics Engineer. ISBN 1-55937-549-3. Estados Unidos, 1995

2. MARCO TEÓRICO.

2.1 CONCEPTO CALIDAD DE LA ENERGÍA.

Cuando se habla de Power Quality o Calidad de la Energía Eléctrica, se hace referencia tanto a la calidad de las señales de tensión y corriente como a la continuidad o confiabilidad del servicio de energía eléctrica, al utilizar el término de calidad se debe tener en cuenta que se va a dar un sentido cuantitativo para evaluaciones técnicas. Actualmente, el estudio de la calidad de la energía eléctrica ha adquirido mucha importancia y tal vez la razón más importante es la búsqueda del aumento de la productividad y competitividad de las empresas, debido a que existe una interrelación entre calidad de la energía eléctrica, la eficiencia y la productividad.

El aumento en la utilización de dispositivos electrónicos, en especial los basados en microelectrónica, los cuales son cada vez más susceptibles y menos inmunes al entorno electromagnético, ha incrementado el interés por las señales de tensión y corriente eléctrica; generando a su vez la necesidad de desarrollar equipos de protección y la terminología para describir estos fenómenos. Por lo tanto el concepto de Power Quality ya no es solo la importancia de entregar un servicio que mantenga la continuidad o la confiabilidad del mismo, sino que también abarca factores en el campo de la interferencia y la compatibilidad electromagnética, lo cual causa que el término de la calidad de la energía no sea único y sea diferente en cada una de las entidades que lo utilizan, a continuación se presentan algunas de las definiciones:

- El instituto EPRI (Electric Power Research Intitute), define la calidad de la energía eléctrica como: “cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la tensión, de la corriente o de la frecuencia, de sus valores ideales que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario”.
- La CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas) en la resolución 070 de 1998 define: “El termino calidad de la potencia suministrada se refiere a las perturbaciones y variaciones de estado estacionario de la tensión y corriente suministrada por el operador de red”.
- La norma IEEE 1159 de 1995: “El termino se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctrica, en un tiempo dado y en una ubicación dada en el sistema de potencia”

A continuación se propone definir la Calidad de la Energía Eléctrica como un conjunto de características físicas de las señales de tensión y corriente para un tiempo dado y un espacio determinado, con el objetivo de satisfacer necesidades de un cliente. Dentro de las características físicas se tiene la continuidad del servicio, la amplitud, la frecuencia y la forma de onda de las señales de tensión y corriente, las cuales están definidas por valores o índices en resoluciones, guías o normas nacionales e internacionales, dentro de rangos que son técnica y económicamente aceptables.

2.2 FENÓMENOS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA ENERGÍA

Los parámetros de amplitud, frecuencia, forma de onda y continuidad de un sistema eléctrico o electrónico, se ven afectados por diferentes tipos de perturbaciones que se pueden dividir de acuerdo con su duración en siete categorías:

1. Transitorios electromagnéticos – TEM.
2. Variaciones de tensión de corta duración – VTCD.

3. Variaciones de tensión de larga duración – VTLD.
4. Desbalance de tensión – DT.
5. Distorsión de la forma de la señal – DFS.
6. Fluctuaciones de tensión – FT.
7. Variación de la frecuencia industrial –VFI.

Según la Norma IEEE Estándar 1159-1995, se tiene la Tabla 1 que muestra un resumen de las características típicas de los fenómenos electromagnéticos.

Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5 ns rise	< 50 ns	
1.1.2 Microsecond	1 μ s rise	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1 ms rise	> 1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	< 5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu ^a
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 μ s	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 μ s	0–4 pu
2.0 Short-duration root-mean-square (rms) variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Sag		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		0.5 cycles – 3 s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 cycles – 3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles – 3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		>3 s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		>3 s – 1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		>3 s – 1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long duration rms variations			
3.1 Interruption, sustained		> 1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		> 1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		> 1 min	1.1–1.2 pu
3.4 Current overload		> 1 min	
4.0 Imbalance			
4.1 Voltage		steady state	0.5–2%
4.2 Current		steady state	1.0–30%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–9 kHz	steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–9 kHz	steady state	0–2%
5.4 Notching		steady state	
5.5 Noise	broadband	steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	< 25 Hz	intermittent	0.1–7% 0.2–2 P _{st} ^b
7.0 Power frequency variations		< 10 s	\pm 0.10 Hz
NOTE—These terms and categories apply to power quality measurements and are not to be confused with similar terms defined in IEEE Std 1366™-2003 [B27] and other reliability-related standards, recommended practices, and guides.			

Tabla 1. Clasificación y Características típicas de los fenómenos electromagnéticos.

³ a The quantity pu refers to per unit, which is dimensionless. The quantity 1.0 pu corresponds to 100%. The nominal condition is often considered to be 1.0 pu. In this table, the nominal peak value is used as the base for transients and the nominal rms value is used as the base for rms variations.

b Flicker severity index P_{st} as defined in IEC 61000-4-15:2003 [B15] and IEEE Std 1453™-2004 [B28].

2.2.1. TRANSITORIOS ELECTROMAGNÉTICOS – TEM.

El término transitorio ha sido usado durante mucho tiempo en el análisis de las variaciones en un sistema eléctrico y/o electrónico, para indicar un evento que es indeseable y de naturaleza momentánea.

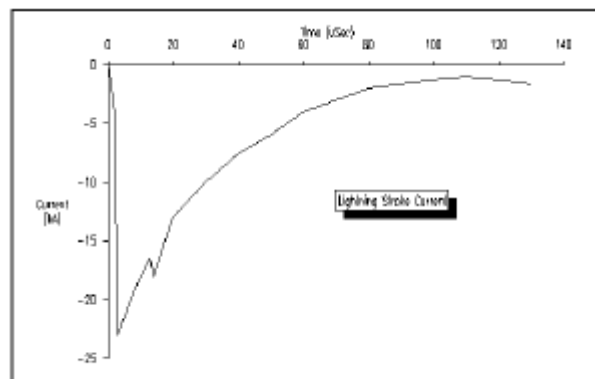
Otra palabra comúnmente usada como sinónimo de transitorio es pico o impulso de tensión, a diferencia de lo que un usuario usa este término indiscriminadamente para describir cualquier evento inusual que puede ser observada en el sistema.

De una forma amplia y técnica, los transitorios electromagnéticos pueden ser clasificados en dos categorías: Transitorios de Impulso y Transitorios Oscilatorios.

a. *Transitorios de impulso.*

Un transitorio de impulso es un cambio súbito, de la condición de estado estacionario de tensión o corriente o ambas y es unidireccional en polaridad positivo o negativo.

Los transitorios de impulso son normalmente caracterizados por sus tiempos de subida o frente (rise time) y de cola (decay), son de moderada y elevada magnitud pero de corta duración medida en microsegundos. Normalmente están caracterizados por sus tiempos de ascenso (1 a 10 μsec) y descenso (20 a 150 μsec) y por su contenido espectral.



Lightning Stroke Current Impulsive Transient

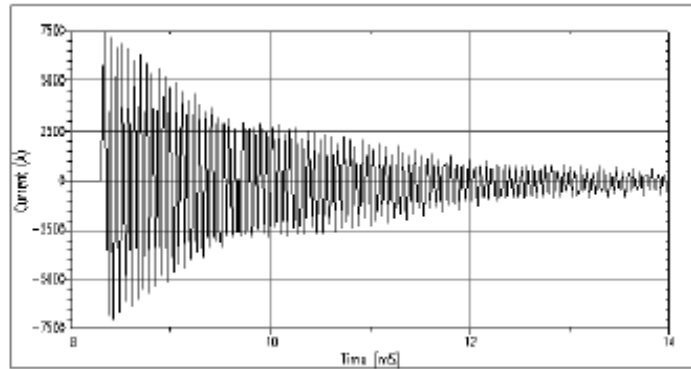
Ilustración 1. Transitorio Impulsivo.

b. *Transitorios oscilatorios.*

Un transitorio oscilatorio es un cambio súbito, de la condición de estado estacionario de tensión o corriente o ambas, que incluye tanto valores positivos como negativos.

Este tipo de transitorio se describe por su contenido espectral, duración y magnitud. Por su frecuencia se clasifica en: transitorios de alta, media y baja frecuencia.

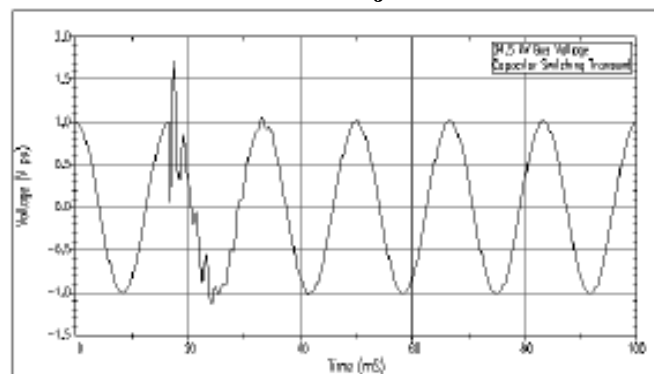
- Los transitorios oscilatorios con una frecuencia mayor de 500 kHz y una duración típica medida en microsegundos (o varios ciclos de la frecuencia fundamental) son considerados transitorios oscilatorios de **alta frecuencia**.
- Cuando la frecuencia se encuentra entre 5 y 500 kHz se considera un transitorio de **frecuencia media**.



Oscillatory Transient Current Caused by Back-to-Back Capacitor Switching

Ilustración 2. Transitorios Oscilatorios.

- Un transitorio con una frecuencia inferior a 5 kHz, y una duración de 0,3 ms a 50 ms, se considera un transitorio de **baja frecuencia**.



Low Frequency Oscillatory Transient Caused by Capacitor-Bank Energization

Ilustración 3. Transitorios de baja frecuencia.

Sucede en los niveles de subtransmisión y distribución y en los sistemas industriales y es causado por diversos tipos de eventos.

El más frecuente es la energización de bancos de capacitores que hacen oscilar la tensión con una frecuencia primaria entre 300 y 900 Hz. La magnitud pico observada normalmente es de 1,3 -1,5 p.u. con una duración entre 0,5 y 3 ciclos dependiendo del amortiguamiento del sistema.

2.2.2. VARIACIONES DE TENSIÓN DE CORTA DURACIÓN – VTCD.

Las VTCD tienen su origen en condiciones de falla, la energización de grandes cargas que requieren grandes corriente de arranque o conexiones inestables en cables de potencia. Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema, la falla puede causar:

- ❖ Caídas de tensión (Sags).
- ❖ Aumentos de tensión (Swells).
- ❖ Interrupción o pérdida completa de tensión.

La condición de falla puede estar cerca o lejos del punto de interés. En cualquier caso, el impacto sobre la duración de la tensión durante la condición de falla es de corta duración, hasta que el equipo de protección opere para aclarar la falla.

a. Caídas (Sags)

Las depresiones (Sag o Dip), también conocidas como valles o huecos consisten en una reducción entre 0,1 y 0,9 p.u. en el valor R.M.S. de la tensión o corriente con una duración de 0,5 ciclos a un minuto.

Las depresiones de tensión son normalmente asociadas a fallas del sistema, a la energización de grandes cargas, al arranque de motores de elevada potencia y a la energización de transformadores de potencia.

Los efectos nocivos de las depresiones de tensión dependen de su duración y de su profundidad, estando relacionados con la desconexión de equipos de cómputo, PLC y contactores entre otros dispositivos. También presenta efectos sobre la velocidad de los motores.

Diferentes posibilidades existen para mitigar los efectos de los sags. La primera consiste en estabilizar la señal de tensión a través de acondicionadores de red, los cuales existen con diferentes principios y tecnologías.

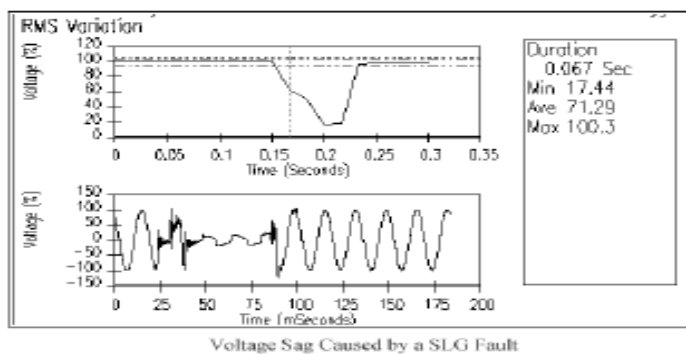


Ilustración 4. Caída de tensión.

b. Subidas (swells).

Una subida se define como un incremento entre 1,1 y 1,8 p.u. en tensión o corriente RMS a frecuencia industrial para duraciones de 0,5 ciclos a 1min.

Igual que las caídas, las subidas están generalmente asociadas con condiciones de falla del sistema, pero ellas no son tan comunes como las caídas de tensión. Estas pueden ser causadas por la desconexión de grandes cargas o la energización de grandes bancos de capacitores

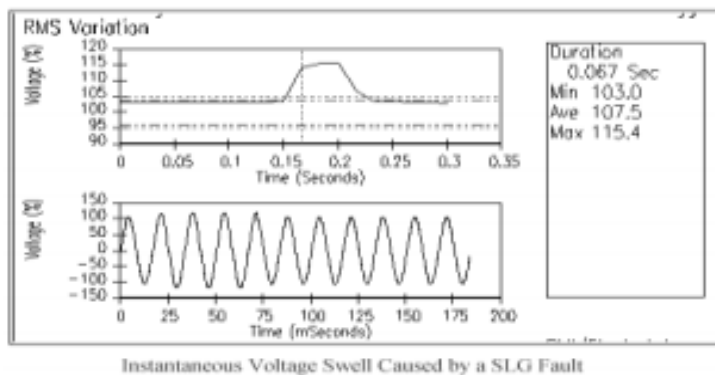


Ilustración 5 Subida de Tensión

c. Interrupciones

Una interrupción ocurre cuando la tensión o la corriente de la carga disminuyen a menos de 0,1 p.u. por un periodo de tiempo que no excede un minuto. Pueden ser resultado de fallas en el sistema, equipos averiados o debidas al mal funcionamiento de los sistemas de control. Las interrupciones se caracterizan por su duración ya que la magnitud de la tensión es siempre inferior al 10% de su valor nominal.

2.2.3. VARIACIONES DE TENSIÓN DE LARGA DURACIÓN.

Son aquellas desviaciones del valor R.M.S. de la tensión que ocurren con una duración superior a un minuto. En Colombia los límites están definidos por la Resolución CREG 024 de 2005 entre +10% y -10% de la tensión nominal.

I. Clasificación de las Variaciones de Tensión de Larga Duración

a. Sobretensión: es el incremento de la tensión a un nivel superior al 110% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. Las sobretensiones son usualmente el resultado de la desconexión de grandes cargas o debido a la conexión de bancos de capacitores. Generalmente se observa cuando el sistema es muy débil para mantener la regulación de la tensión o cuando el control de la tensión es inadecuado.

b. Baja Tensión: es la reducción en el valor R.M.S de la tensión a menos del 90% del valor nominal por una duración mayor de un minuto. La conexión de una carga o la desconexión de un banco de capacitores pueden causar una baja tensión hasta que los equipos de regulación actúen correctamente para restablecerlo; así mismo, los circuitos sobrecargados pueden producir baja tensión en los terminales de carga.

c. Interrupción Sostenida: se presenta cuando la ausencia de tensión se manifiesta por un periodo superior a un minuto. Este tipo de interrupciones frecuentemente son permanentes y requieren la intervención del hombre para restablecer el sistema.

II. Desequilibrio de Tensiones

El desequilibrio de tensiones en un sistema eléctrico ocurre cuando las tensiones entre las tres líneas no son iguales y puede ser definido como la desviación máxima respecto al valor promedio de las tensiones de línea, dividida entre el promedio de las tensiones de línea, expresado en porcentaje. Las fuentes más comunes del desequilibrio de tensiones son las cargas monofásicas conectadas en circuitos trifásicos, los transformadores conectados en delta abierto y fallas de aislamiento en conductores no detectadas.

III. Distorsión de la Forma de Onda

La distorsión de la forma de onda es una desviación estable del comportamiento idealmente sinusoidal de la tensión o la corriente a la frecuencia fundamental del sistema de potencia. Se caracteriza, principalmente por el contenido espectral de la desviación. Existen cinco formas primarias de distorsión de la forma de onda:

- Corrimiento DC
- Armónicos
- Interarmónicos
- Muecas de Tensión (Notching)
- Ruido

a. Corrimiento DC

La presencia de una tensión o corriente directa (DC) en un sistema de corriente alterna (AC) de potencia se denomina corrimiento DC (DC offset). Esto puede ocurrir debido al efecto de rectificación de media onda, extensores de vida o controladores de luces incandescentes. Este tipo de controlador, por ejemplo, puede consistir en diodos que reducen el valor R.M.S. de la tensión de alimentación por rectificación de media onda.

b. Armónicos

Los armónicos son tensiones o corrientes sinusoidales cuya frecuencia es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental del sistema, la cual, para el caso de nuestro país es 60 Hz. La distorsión armónica se origina, fundamentalmente, por la característica no lineal de las cargas en los sistemas de potencia. El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. Es común, además, utilizar un criterio denominado distorsión total armónica (THD) como una medida de la distorsión.

Dentro de los efectos nocivos que presentan los armónicos, se pueden citar los siguientes:

- Son una causa de interferencias en las comunicaciones y en los circuitos de control.
- Provocan la disminución del factor de potencia.
- Al incrementarse la corriente debido a los armónicos, se aumentan el calentamiento y las pérdidas en los cables.
- Los armónicos de tensión pueden provocar disturbios en los sistemas electrónicos.

c. Interarmónicos

Se llaman interarmónicos a las tensiones o corrientes de frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual trabaja el sistema. Los interarmónicos se pueden encontrar en redes de todas las clases de tensiones. Efectos de calentamiento, similares a los producidos por los armónicos, son causados por los interarmónicos. Debido a que los interarmónicos son fuentes de las fluctuaciones de tensión, se presenta alto riesgo de la generación de flickers.

d. Muestras de Tensión (Notching)

Conocidas también como hendiduras, las muescas son perturbaciones periódicas en la forma de onda de tensión, causadas por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra. Las muescas de tensión causan fallas en las CPU, impresoras láser y mal funcionamiento de algunos equipos electrónicos.

e. Ruido

El ruido es una señal eléctrica indeseable con un contenido espectral inferior a 200 kHz superpuesto a la tensión o a la corriente del sistema en los conductores de las fases o en los conductores neutros o líneas de señales. Una de las causas más frecuente de ruidos son los generadores de emergencia baratos de baja calidad donde se manifiesta el efecto de las ranuras en la forma de onda del voltaje de salida.

IV. Fluctuaciones de Tensión

Las fluctuaciones de tensión son variaciones sistemáticas de la envolvente de la tensión o una serie de cambios aleatorios de la tensión cuya magnitud no excede normalmente los rangos

estándar de tensión. Las cargas que muestran variaciones rápidas y continuas de la magnitud de la corriente pueden causar variaciones de tensión que son frecuentemente denominadas “flicker”.

El término flicker se deriva del impacto de las fluctuaciones de tensión en las lámparas al ser percibidas por el ojo humano como titilaciones. La señal de flicker se define por su magnitud R.M.S. expresada como por ciento de la tensión nominal y se mide con respecto a la sensibilidad del ojo humano.

V. Variaciones de Frecuencia en el Sistema de Potencia

La variación de frecuencia es la desviación de la frecuencia fundamental del sistema de su valor nominal especificado (60 Hz en el caso de Colombia). La frecuencia está directamente relacionada con la velocidad de rotación de los generadores que componen el sistema. Normalmente existen ligeras variaciones de frecuencia debido a la fluctuación del balance entre la generación y la demanda de potencia de un sistema.

3. ESPECIFICACIONES

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron 5 tipos de luminarias: incandescente, ahorradora, halógena, led, tubo fluorescente. A continuación daremos a conocer las especificaciones técnicas de cada una de las luminarias.

- Lámpara Incandescente

Marca: PHILIPS
Modelo: A55 Clara
Potencia: 60 Watt
Tensión: 120 V

- Lámpara Ahorradora

Marca: PHILIPS
Modelo: Essential
Potencia: 15 Watt
Tensión: 110 V – 127 V

- Lámpara Halógena

Marca: MIR
Modelo: JDR E27
Potencia: 50 Watt
Tensión: 110 V

- Lámpara LED

Marca: WESTINGHOUSE
Modelo: MR - 16
Potencia: 1.5 Watt
Tensión: 120 V – 127 V

- Lámpara Fluorescente

Marca: OSRAM SYLVANIA
Modelo: FO 32W/765
Potencia: 32 Watt
Tensión: 110 V

- ✓ Balasto

Tipo: Electrónico
Modelo: QTR4x32T8120ISNSC
Tensión: 120 V
Circuito Interno: Paralelo

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

INDIVIDUALES

Se conecto un bombillo comercial de diferente tipo (incandescente, halógeno, ahorrador, LED y lámpara de tubo fluorescente.) a la línea y utilizando el analizador de línea (Power Quality Analyzer) FLUKE 43B, se realizó la medición de cada uno de los parámetros descritos a continuación:

- **Tensión:** Se hicieron mediciones de forma de onda, armónicos y fluctuaciones.
- **Corriente:** Se hicieron mediciones de forma de onda, armónicos, fluctuaciones y corriente de arranque.
- **Potencia:** Se hicieron mediciones de armónicos, potencia total, potencia aparente a la entrada, factor de potencia y factor de desplazamiento.
- **Flujo lumínico:** Se hizo medición de la cantidad de luxes emitidos por el bombillo, se empleo el Medidor digital de luz EXTECH LT300.

Dichas mediciones se realizaron en su mayoría a partir de las 6 de la tarde, en una red a la cual había otros dispositivos conectados tales como portátiles, fuentes, osciloscopios etc; lo cual se tendrá en cuenta para el análisis.

Harmonic order (n)	Maximum permissible harmonic current expressed as a percentage of the input current at the fundamental frequency (%)
2	2
3	$30 \cdot \lambda^*$
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (odd harmonics only)	3

λ^* is the circuit power factor

Tabla 2. Limites para equipos Clase C [7].

A. INCANDESCENTES.

Marca: PHILIPS
Modelo: A55 Clara
Potencia: 60 Watt
Tensión: 120 V

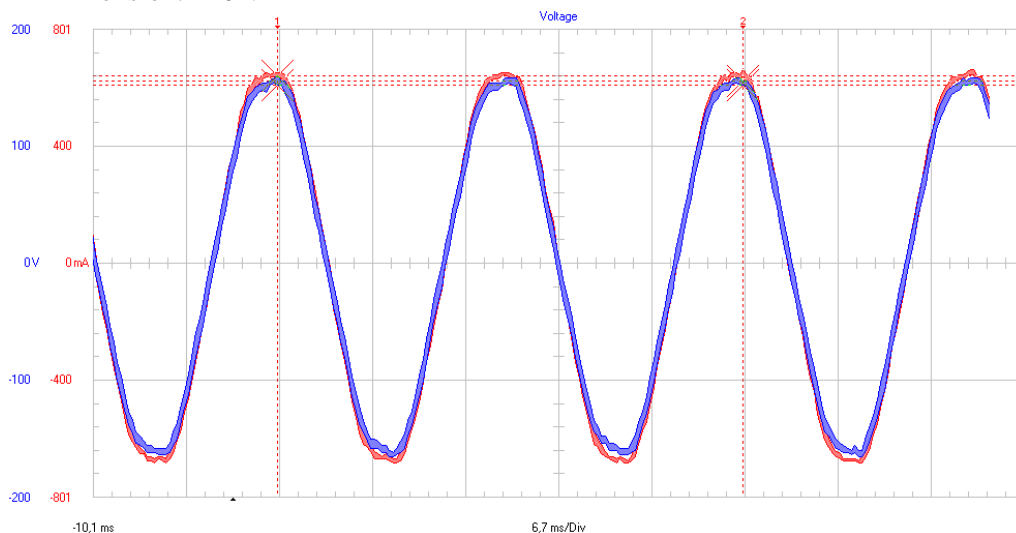


Ilustración 6. Formas de onda de luminaria incandescente.

Nombre	Tensión	Corriente
Escala en el eje Y	100 V/Div	400 mA/Div
Escala en el eje X	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
Max	161 V	663 mA
Min	-167 V	-686 mA

Tensión
Forma de onda

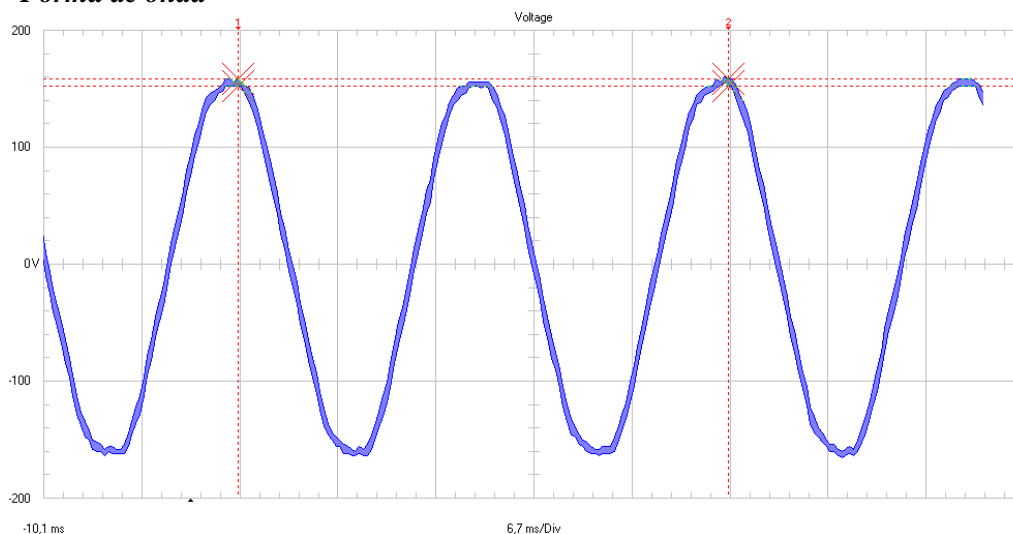


Ilustración 7. Forma de onda de V.

La forma de onda presenta variaciones en la amplitud mínimas, y la distorsión observada se debe a la forma en la que se genera la señal, así mismo debe tenerse en cuenta que en el momento de la toma de mediciones, tal como sucede en el uso cotidiano de las mismas, no es el único dispositivo conectado a la red eléctrica y por tanto se ve afectado por el comportamiento de los otros dispositivos.

Armónicos

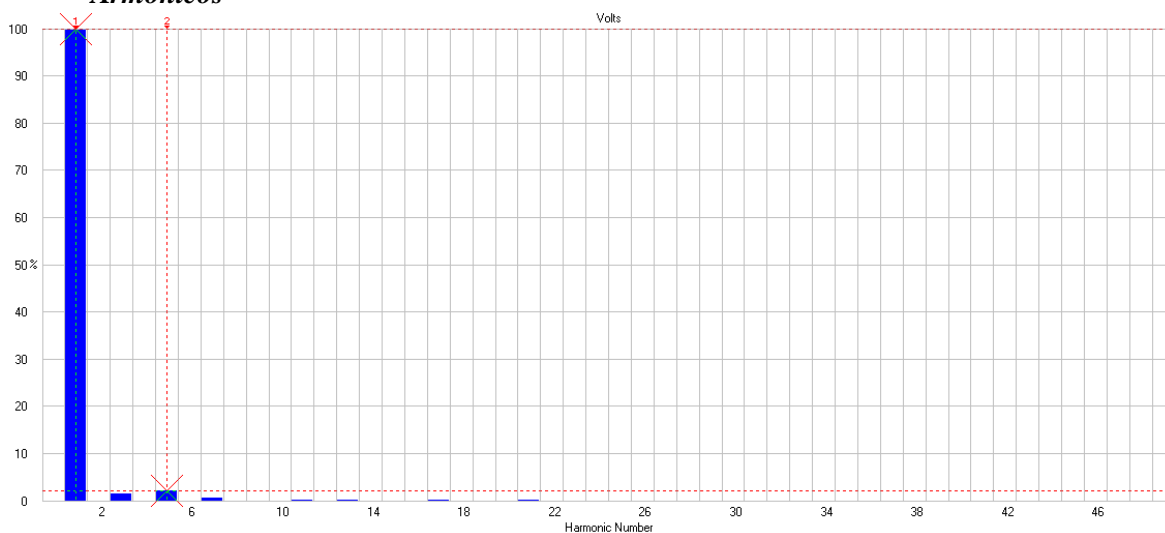


Ilustración 8. Armónicos de V

Nombre	Voltios
Fundamental	60 Hz
THD	2,8%

En cuanto al contenido armónico debe resaltarse que al tener casi la totalidad de su contenido armónico en la frecuencia fundamental de la línea, el ruido que genera es mínimo, y por tanto no afecta de una manera significativa la calidad de la red eléctrica.

Corriente
Forma de onda

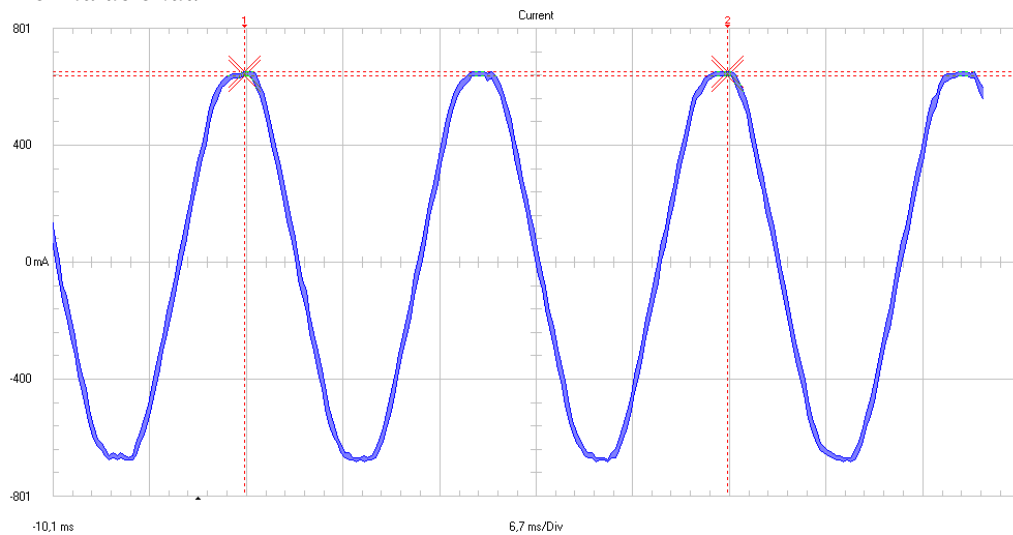


Ilustración 9. Forma de onda de I.

Dado que las formas de onda de tensión y corriente mantienen una forma sinusoidal y son bastante similares entre sí, se puede asumir que el comportamiento de esta luminaria es como el de una resistencia o carga lineal, lo cual permite tomar estas medidas como referencia para el análisis del comportamiento de las otras luminarias que se estudian en este documento.

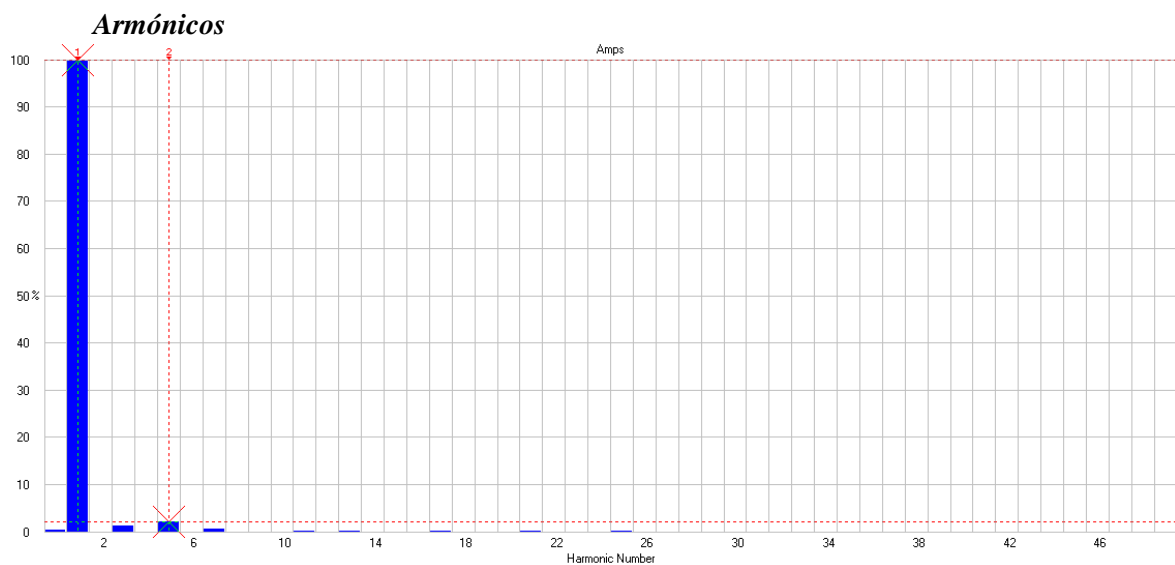


Ilustración 10. Armónicos de I.

Nombre	Amperios
Fundamental	60 Hz
THD	2,8%

Como se observó en el contenido armónico de tensión, ocurre lo mismo en el caso de corriente lo cual indica que la tensión se verá reflejada en su totalidad en la potencia consumida por el dispositivo como se observará en la *tabla 5*.

Flujo lumínico

Su flujo lumínico es equivalente a 2.52 kLux.

B. AHORRADORES

Marca: PHILIPS
 Modelo: Essential
 Potencia: 15 Watt
 Tensión: 110 V – 127 V

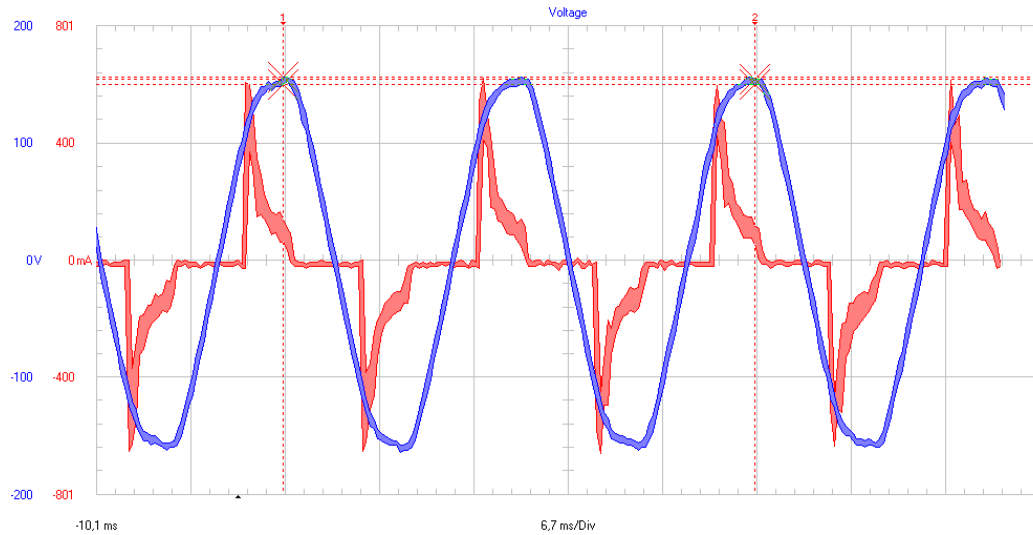


Ilustración 11. Formas de onda de luminaria Ahorradora.

Nombre	Tensión	Corriente
Escala en el eje Y	100 V/Div	400 mA/Div
Escala en el eje X	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
Max	157 V	647 mA
Min	-163 V	-749 mA

Tension
Forma de onda

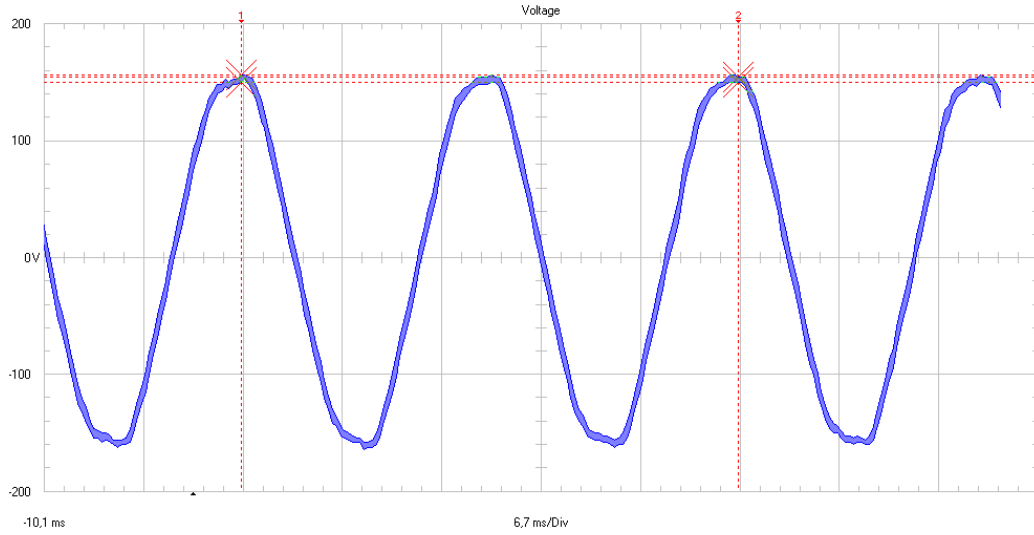


Ilustración 12. Forma de onda de V.

Armónicos

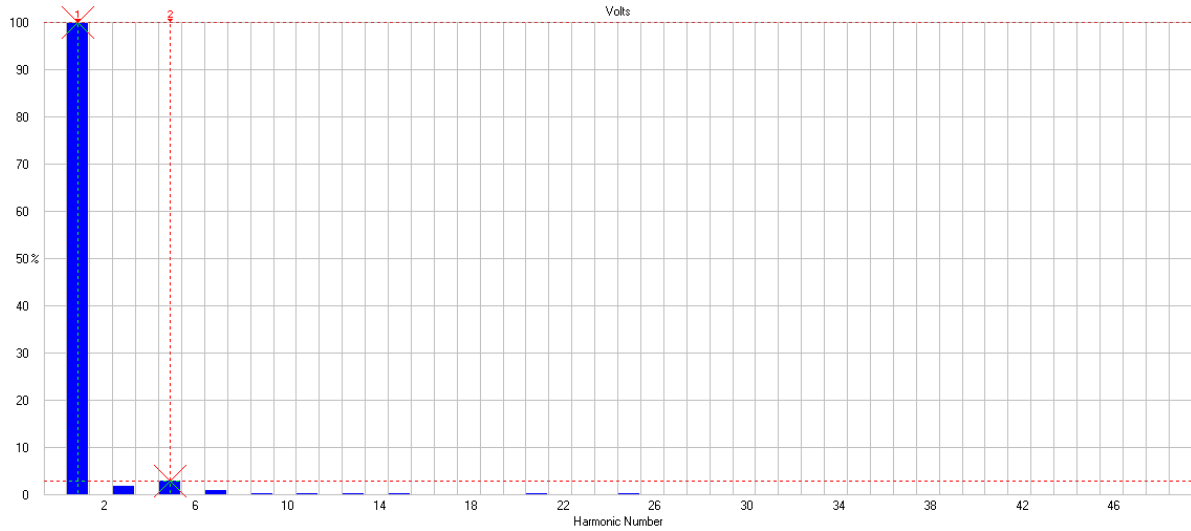


Ilustración 13. Armónicos de V.

Nombre	Tensión
Fundamental	60 Hz
THD	3,4%

Como se observa en el caso de las luminarias incandescentes, no ocurren mayores cambios, solo un pequeño aumento en la THD, esto se debe a los cambios en el contenido armónico en la corriente que se observa en el siguiente numeral.

Corriente
Forma de onda

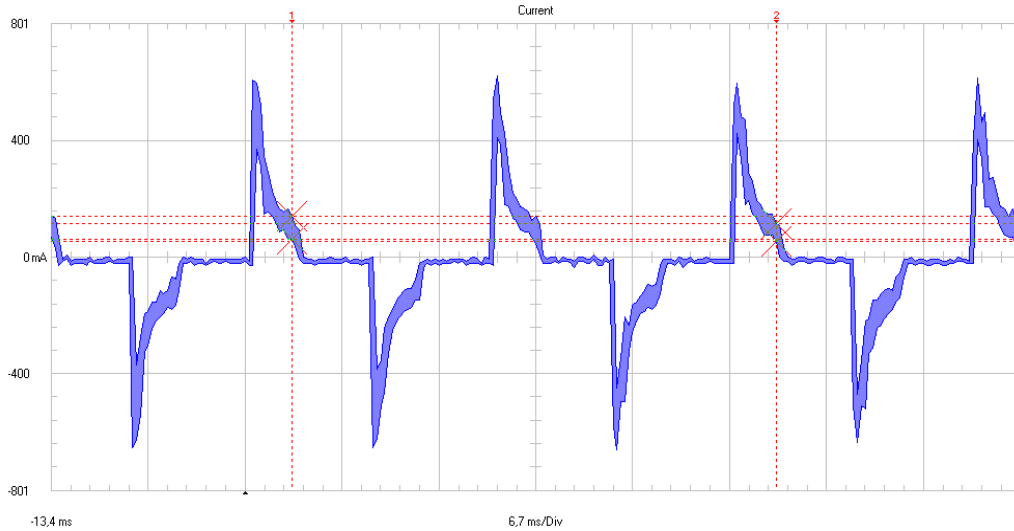


Ilustración 14. Forma de onda de I.

Armónicos

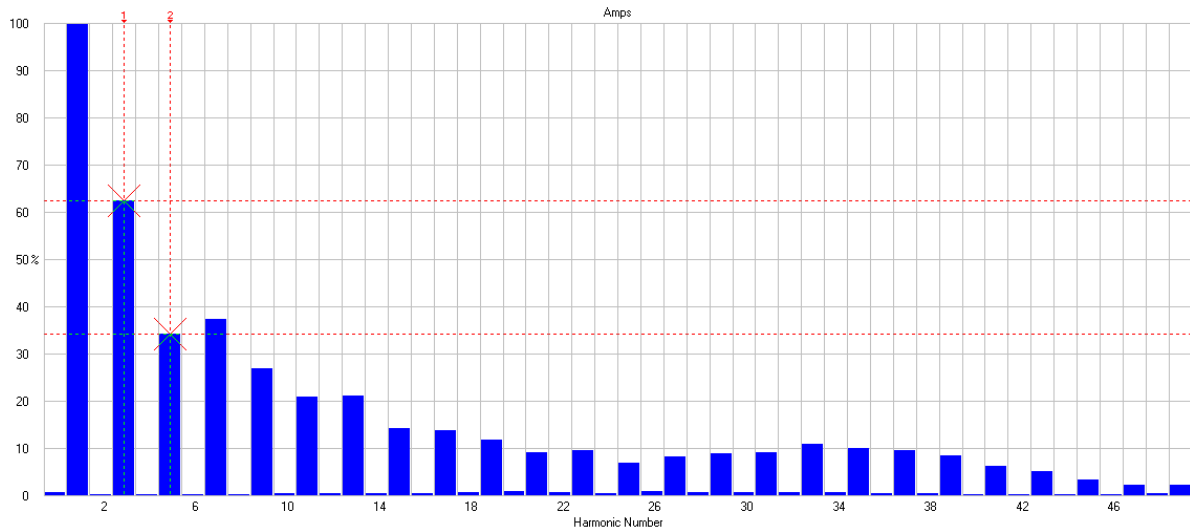


Ilustración 15. Armónicos de I.

Nombre	Amperios
Fundamental	60 Hz
THD	97.7%
Armónico N3	62,5%
Armónico N5	34,2%

Tabla 3. Mediciones de armónicos de I

Al comparar la *tabla 3* con la *tabla 2*, la cual indica los límites de distorsión armónica para equipos de iluminación o tipo C de acuerdo a la norma IEC 61000-3-2. Se observó que el contenido armónico de estas luminarias excede dichos límites lo cual genera corriente que no se refleja en la potencia real consumida, pero si debe ser soportada por la red eléctrica.

Flujo lumínico

Su flujo lumínico es equivalente a 5.34 kLux

C. HALÓGENAS.

Marca: MIR
 Modelo: JDR E27
 Potencia: 50 Watt
 Tensión: 110 V

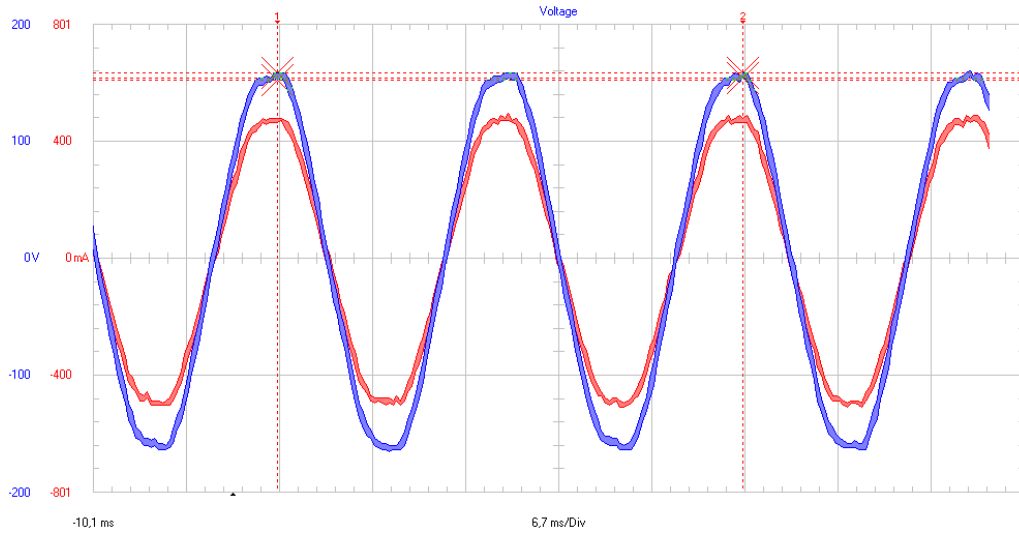


Ilustración 16. Formas de onda luminaria Halógena.

Nombre	Tensión	Corriente
Escala en el eje Y	100 V/Div	400 mA/Div
Escala en el eje X	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
Max	161 V	497 mA
Min	-167 V	-513 mA

Tensión
Forma de onda

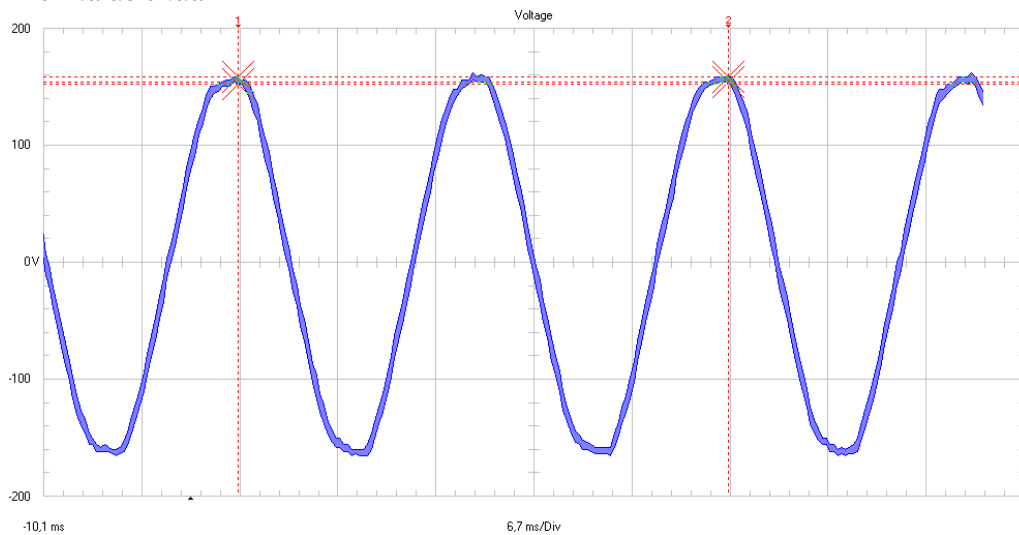


Ilustración 17. Forma de onda V.

Armónicos

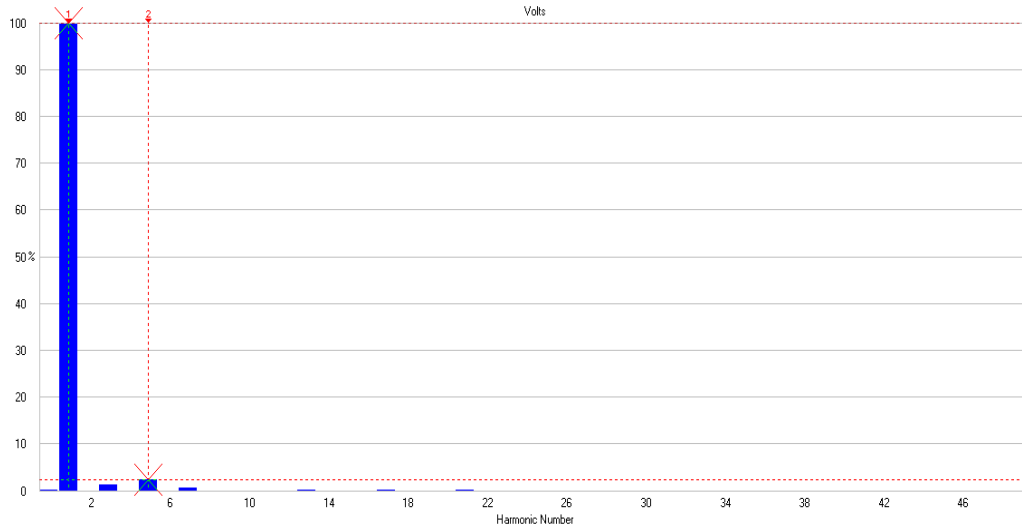


Ilustración 18. Armónicos de V.

Nombre	Voltios
Fundamental	60 Hz
THD	2.9%

Corriente
Forma de onda

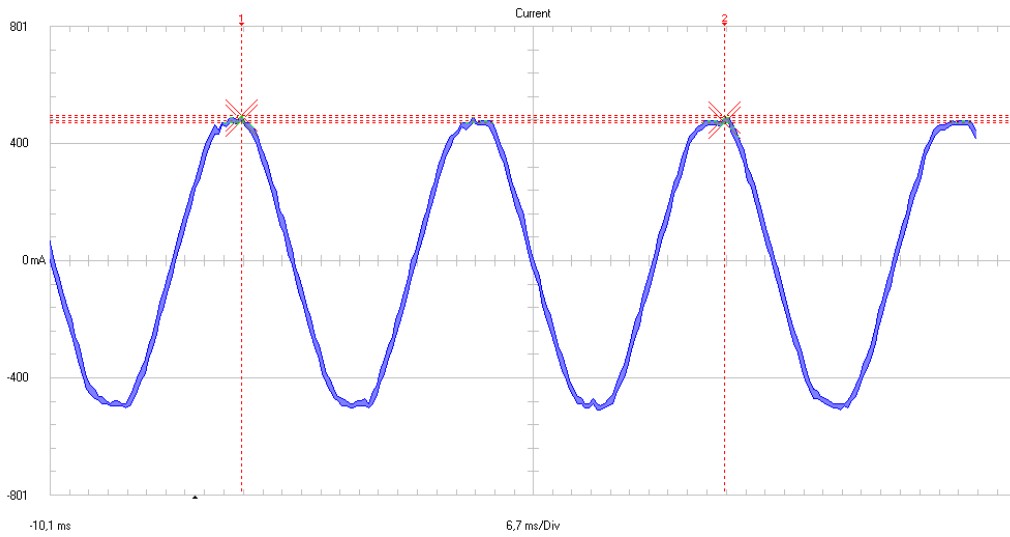


Ilustración 19. Forma de onda I.

Armónicos

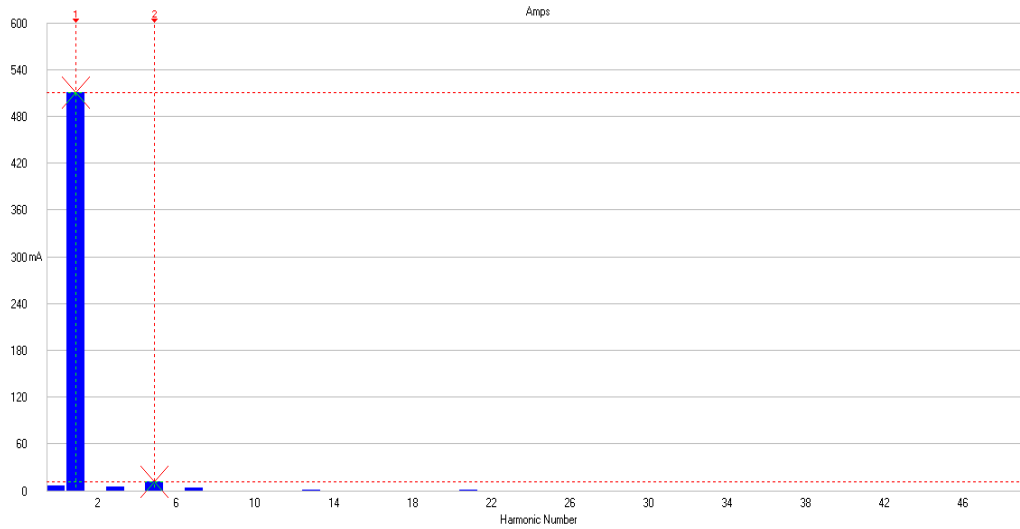


Ilustración 20. Armónicos de I.

Nombre	Amperios
Fundamental	60 Hz
THD	2.7%

Flujo lumínico

Su flujo lumínico es equivalente a 13.88klux

En este tipo de luminarias no se encuentran diferencias significativas respecto a las luminarias incandescentes debido a que su funcionamiento es bastante similar, la única diferencia es el material del filamento por tanto se comporta también como una carga lineal.

D. LED

Marca: WESTINGHOUSE

Modelo: MR - 16

Potencia: 1.5 Watt

Tensión: 120 V – 127 V

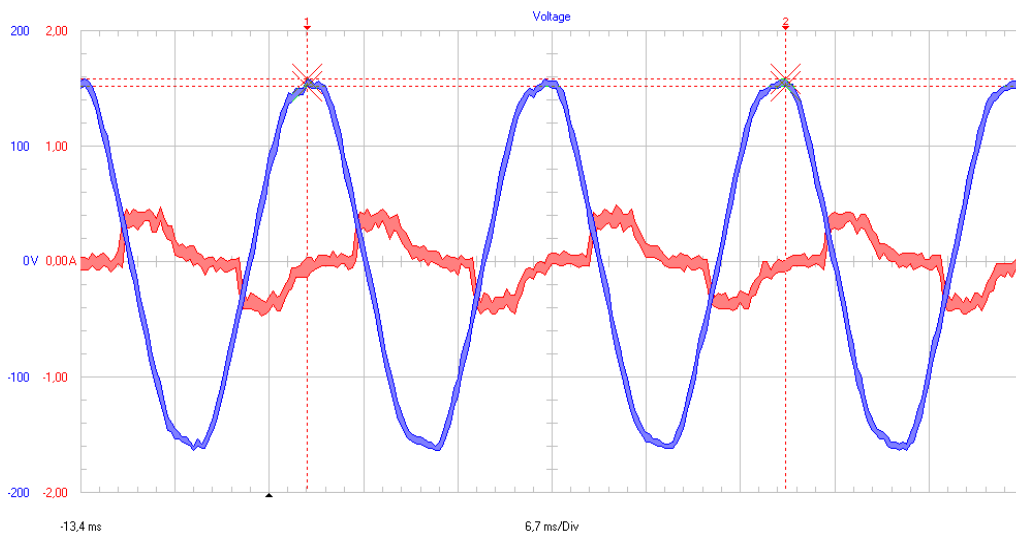


Ilustración 21. Formas de onda de luminaria LED.

Nombre	Tensión	Corriente
Escala en el eje Y	100 V/Div	400 mA/Div
Escala en el eje X	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
Max	159 V	46 mA
Min	-165 V	-52 mA

Tensión
Forma de onda

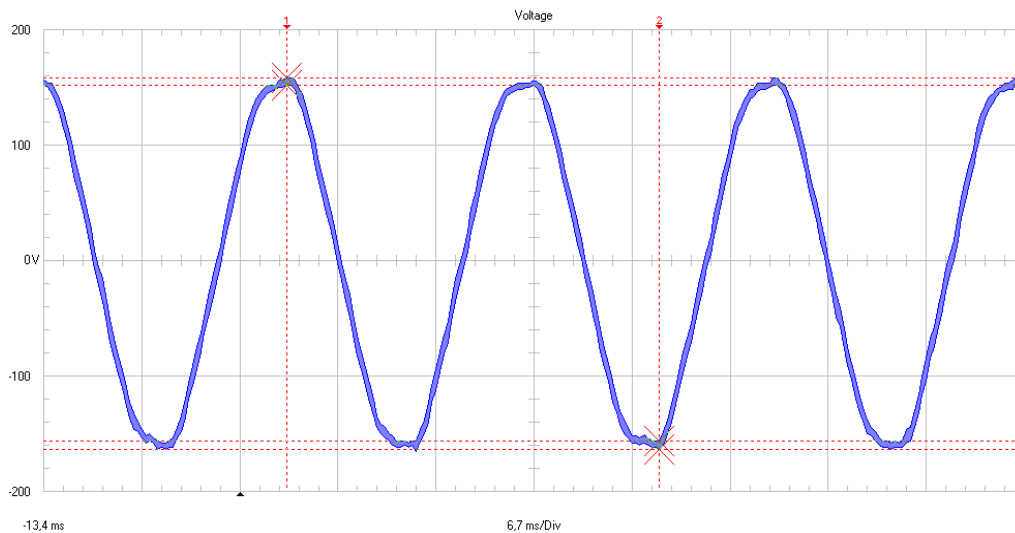


Ilustración 22. Forma de onda V.

Armónicos

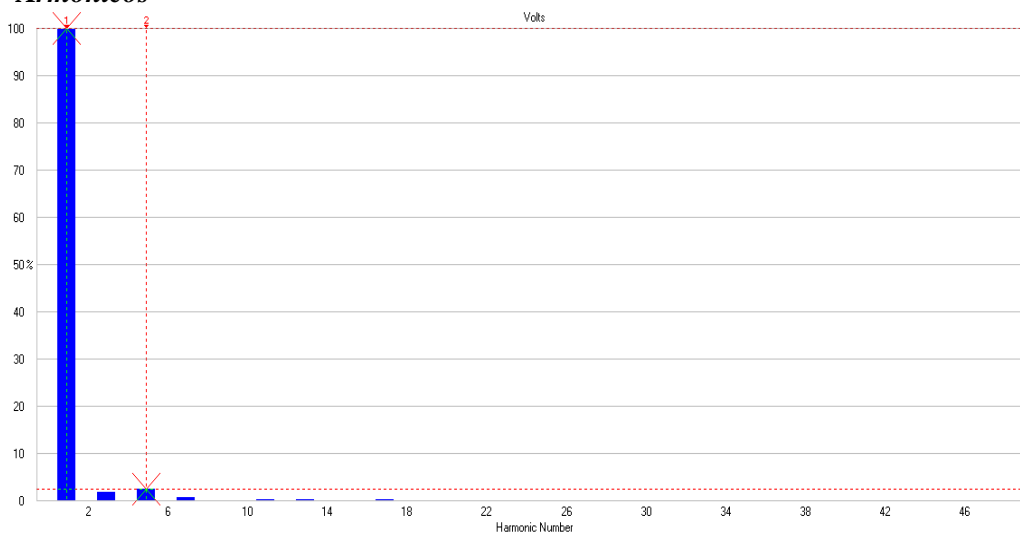


Ilustración 23. Armónicos de V.

Nombre	Voltios
Fundamental	60 Hz
THD	3,1%

Corriente
Forma de onda

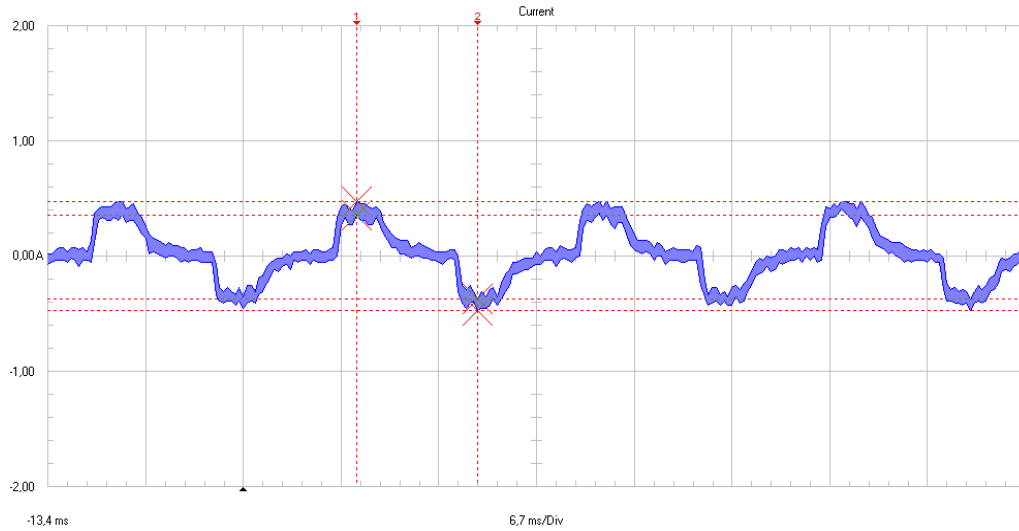


Ilustración 24. Forma de onda I.

Armónicos

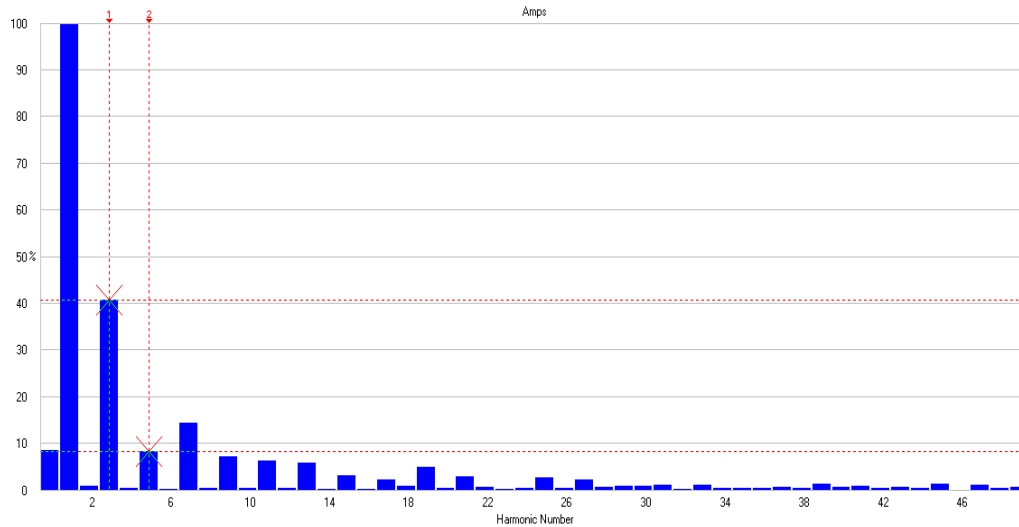


Ilustración 25. Armónicos de I.

Nombre	Amperios
Fundamental	60 Hz
THD	46,4%
Armónico N° 3	40,9%
Armónico N° 7	14,3%

Tabla 4. Mediciones de armónicos de I.

Al realizar la comparación de *tabla 4* con la *tabla 2*, se observa que en algunos armónicos como por ejemplo el 3 y el 7 se superan los valores establecidos en dicha tabla, generando distorsión y afectando el funcionamiento de la red eléctrica aunque no en la misma proporción que la luminaria ahorradora.

Flujo lumínico

Su flujo lumínico es equivalente a 3.21 kLux.

E. FLUORESCENTE

Marca: OSRAM SYLVANIA

Modelo: FO 32W/765

Potencia: 32 Watt

Tensión: 110 V

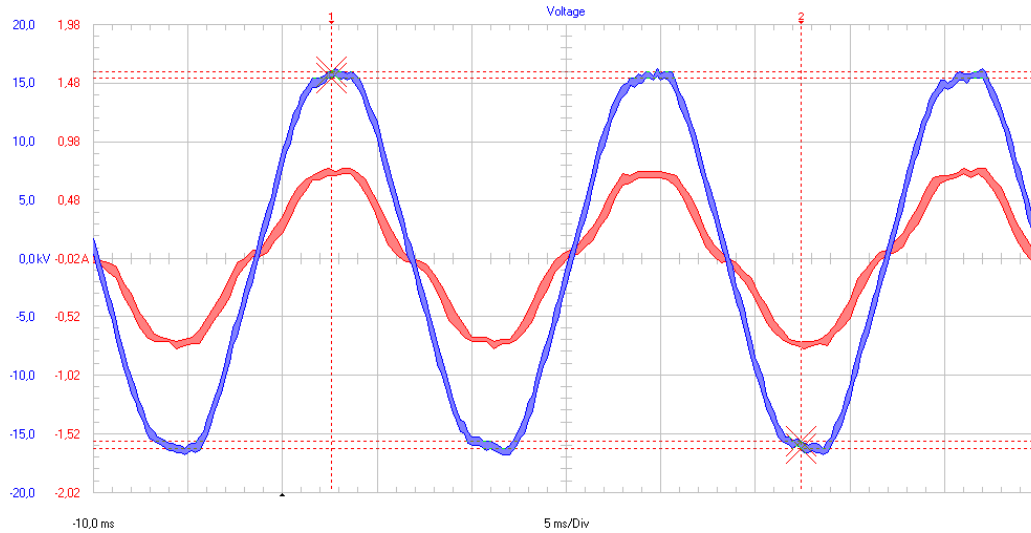


Ilustración 26. Formas de onda de luminaria fluorescente.

Nombre	Tensión	Corriente
Escala en el eje Y	100 V/Div	400 mA/Div
Escala en el eje X	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
Max	16,3 kV	770 mA
Min	-16,9 kV	-790 mA

Tensión

Forma de onda

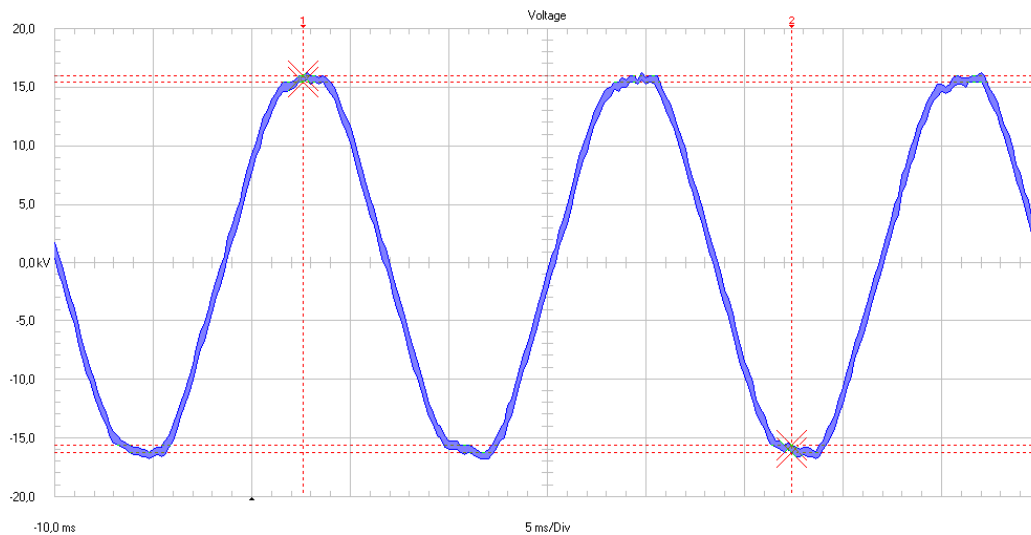


Ilustración 27. Forma de onda de V

Armónicos

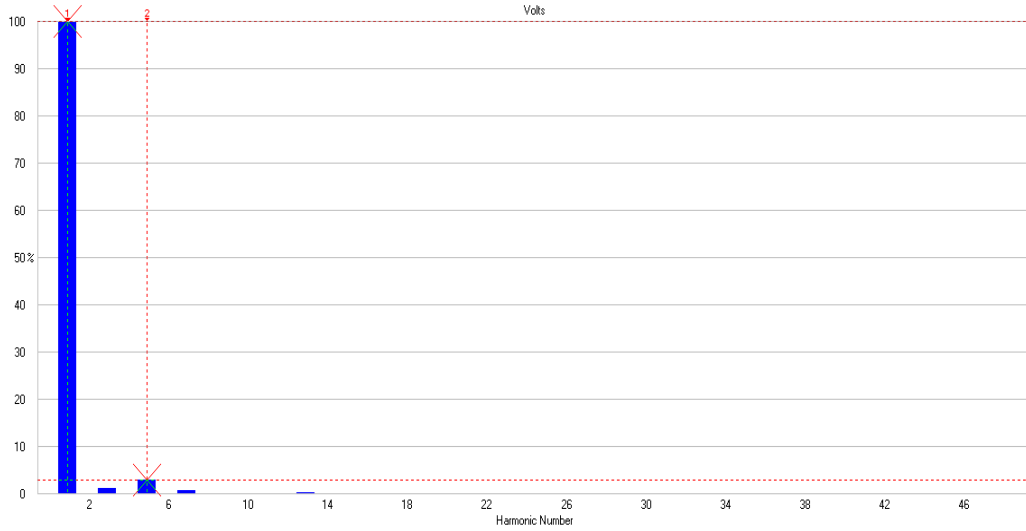


Ilustración 28. Armónicos de V.

Nombre	Voltios
Fundamental	60 Hz
THD	3,1%

Corriente Forma de onda

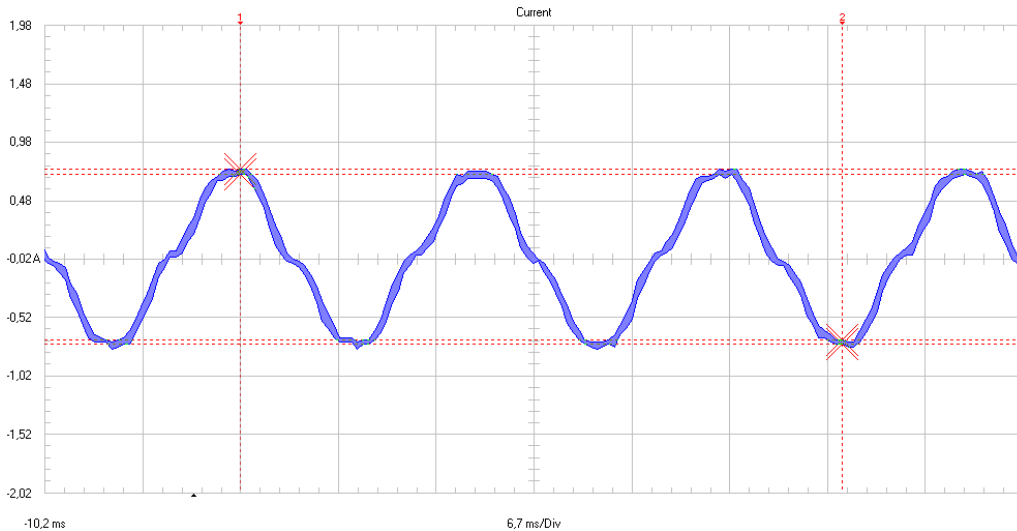


Ilustración 29. Forma de onda de I.

En la forma de onda de la corriente de las luminarias de tubo fluorescente *Ilustración 29*, se puede observar unos notching a lo largo de la forma de onda lo cual se debe al tipo de balasto utilizado en el estudio, de igual forma estas deformaciones con el transcurrir del tiempo pueden generar lo que se conocen como flickers los cuales pueden tener efectos nocivos para los usuarios.

Armónicos

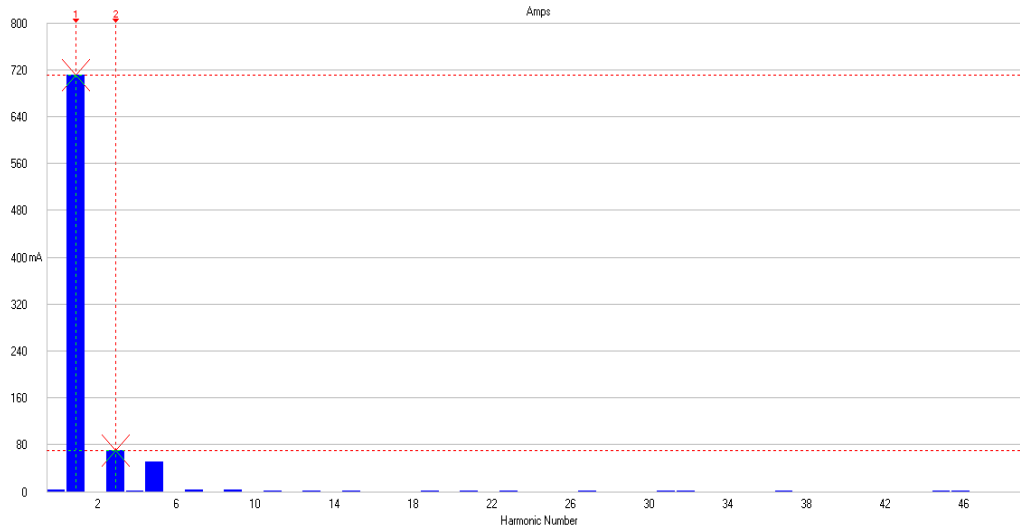


Ilustración 30. Armónicos de I

Nombre	Amperios
Fundamental	60 Hz
THD	12,4%

Flujo lumínico

Su flujo lumínico es equivalente a 5.23 kLux

A continuación se presenta una tabla comparativa en la cual se muestran los principales parámetros analizados durante el desarrollo de la presente investigación.

MEDICIONES INDIVIDUALES	Vpico (V)		Ipico (A)		POTENCIA TOTAL		POTENCIA APARENTE		FACTOR DE POTENCIA	FACTOR DE DESPLAZAMIENTO	LUX/W		LUX
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx			Mín	Máx	
INCANDESCENTE	-167	161	-0.686	0.663	57.40	57.70	57.20	57.70	1.00	1.00	32.857	32.686	1886
AHORRADORA	-163	157	-0.749	0.647	12.50	12.50	20.00	21.00	0.62	0.92	178.800	178.800	2235
HALÓGENA	-167	161	-0.513	0.497	42.40	42.60	42.40	42.60	1.00	1.00	37.854	37.676	1605
LED	-165	159	-0.480	0.500	1.20	1.20	2.80	2.90	0.41	0.46	1740.000	1740.000	2088
FLUORESCENTE	-16900	16300	-0.790	0.770	59.00	59.00	60.00	60.00	0.99	1.00	8.864	8.864	523

Tabla 5. Tabla comparativa de luminarias individuales.

Como observaciones generales de esta primera etapa se tiene:

- La forma de onda de tensión no se ve muy afectada, esto se debe a la capacidad que tiene la línea del suministro de red eléctrica, así como al hecho de que la carga utilizada no es significativa para la misma.
- Un indicador de la presencia significativa de los armónicos es la diferencia entre el factor de potencia y el factor de desplazamiento, lo cual confirma el alto contenido armónico que se presenta en las mediciones de las luminarias ahorradoras y LED. Cabe aclarar que en el caso de las luminarias fluorescentes la diferencia entre estos dos parámetros es mínima, pero se debe a que el balasto con el que se encontraban montada la luminaria en el momento de las mediciones corrige el factor de potencia haciendo que su funcionamiento sea más apropiado y menos nocivo para la red de suministro eléctrico.

➤ Teniendo en cuenta la definición de flicker y observando las fluctuaciones de tensión, las luminarias que tienen más tendencia a presentar este tipo de fallas son las ahorradoras y tubos fluorescentes.

ARREGLOS

Después de haber estudiado cada una de las luminarias de manera individual, se procedió a realizar mediciones aumentando una bombilla a la vez hasta completar un arreglo de 10 bombillas, las cuales se conectaron en paralelo como habitualmente se realiza en hogares y lugares de trabajo. En esta parte del desarrollo nos enfocamos en las luminarias ahorradoras, dado que al analizar el caso individual se observó que eran las que podían tener un mayor efecto en la calidad de la energía eléctrica. Se analizaron los mismos parámetros que en el caso individual y a continuación se relacionan los hallazgos más relevantes.

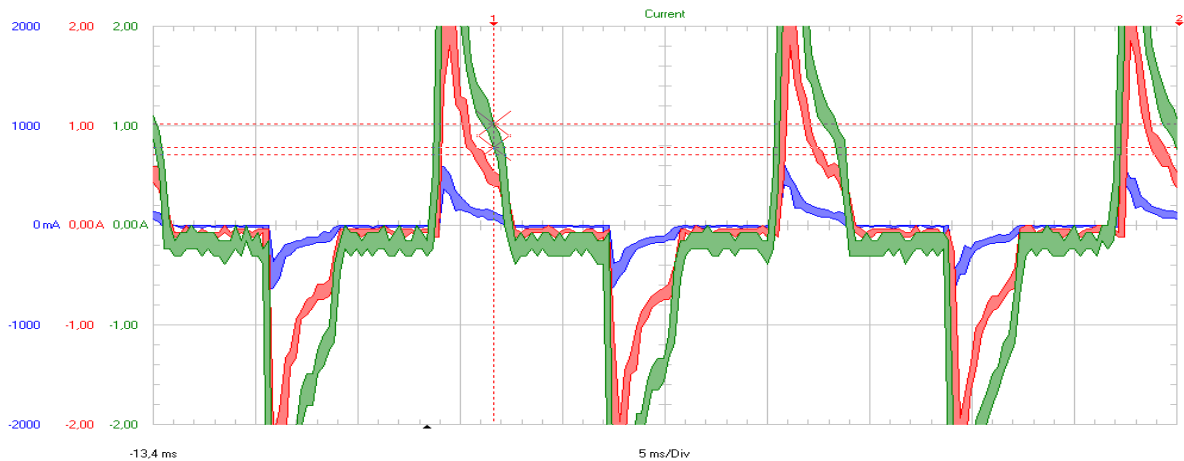


Ilustración 31. I Luminarias Ahorradoras.

Nombre	Corriente	Corriente	Corriente
Escala en el eje Y	1 A/Div	1 A/Div	1 A/Div
Escala en el eje X	5 ms/Div	5 ms/Div	5 ms/Div
Max	623 mA	3,00 A	5,21 A
Min	-663 mA	-3,08 A	-5,52 A

En la *ilustración 31* se puede observar la corriente correspondiente a una carga de 1 bombilla (azul), 5 bombillas (rojo) y 10 bombillas (verde). Se puede observar que aunque la forma de onda se mantiene, la amplitud aumenta, esto debido al aumento en la potencia consumida.

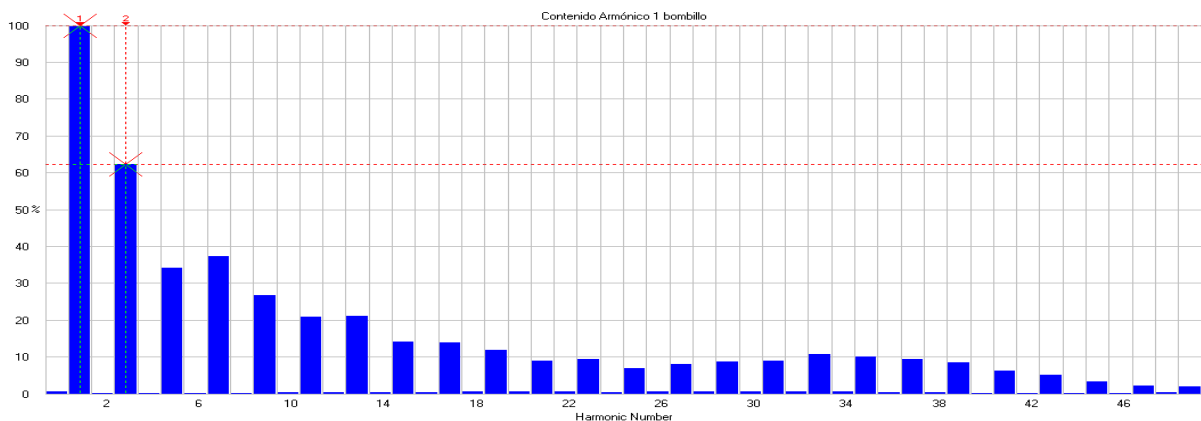


Ilustración 32. Armónicos I 1 Ahorradora.

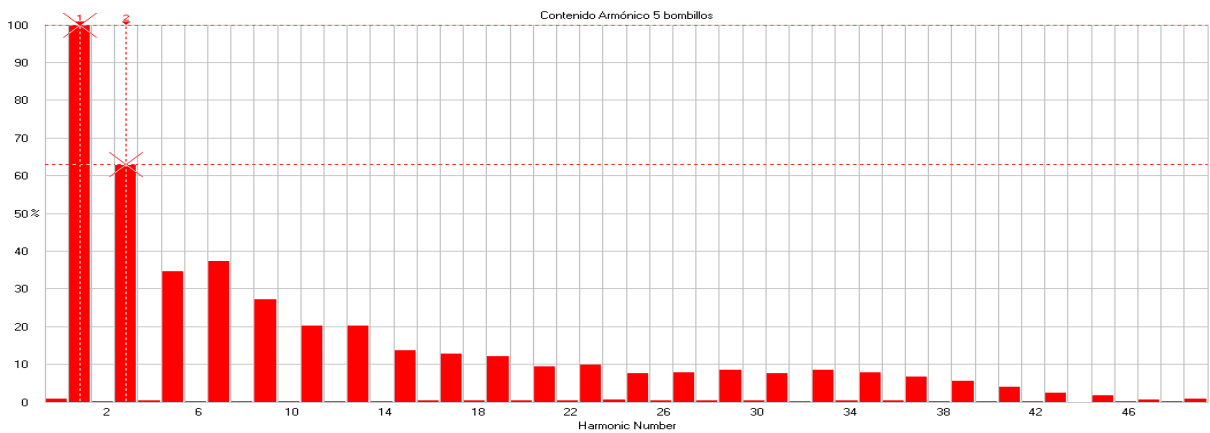


Ilustración 33. Armónicos I 5 Ahorradores.

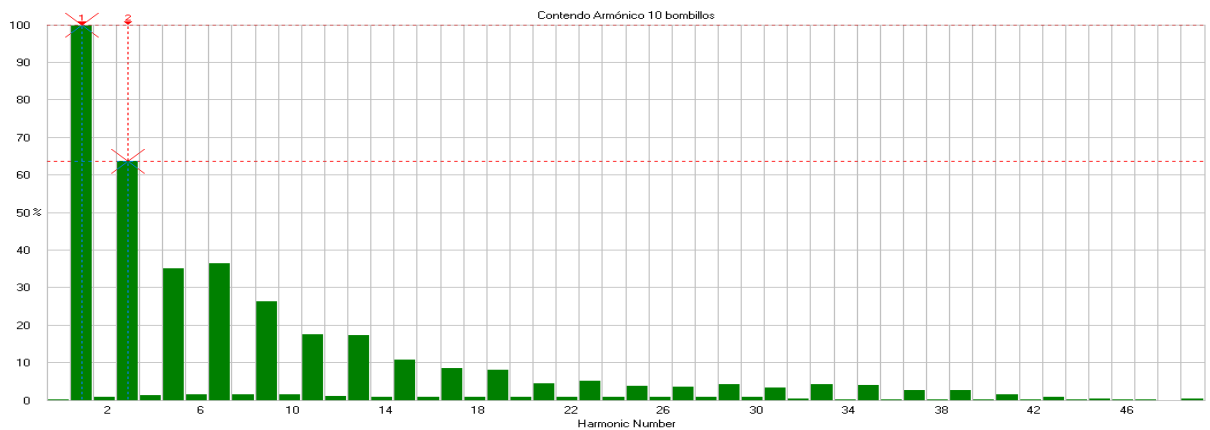


Ilustración 34. Armónicos I 10 Ahorradoras.

Nombre	Amperios	Amperios	Amperios
Fundamental	60 Hz	60 Hz	60Hz
THD	97,7%	96,6%	91,5%
Armónico N° 3	62,5%	63%	63,8
Armónico N° 5	34,2%	34,5%	35,1%

Como se puede observar en las imágenes anteriores a medida que se aumenta el número de bombillas, el contenido armónico en corriente disminuye con respecto a la componente fundamental, por tanto se podría pensar que la tensión tendría un comportamiento similar; sin embargo al realizar las mediciones de tensión se obtuvieron los siguientes resultados:

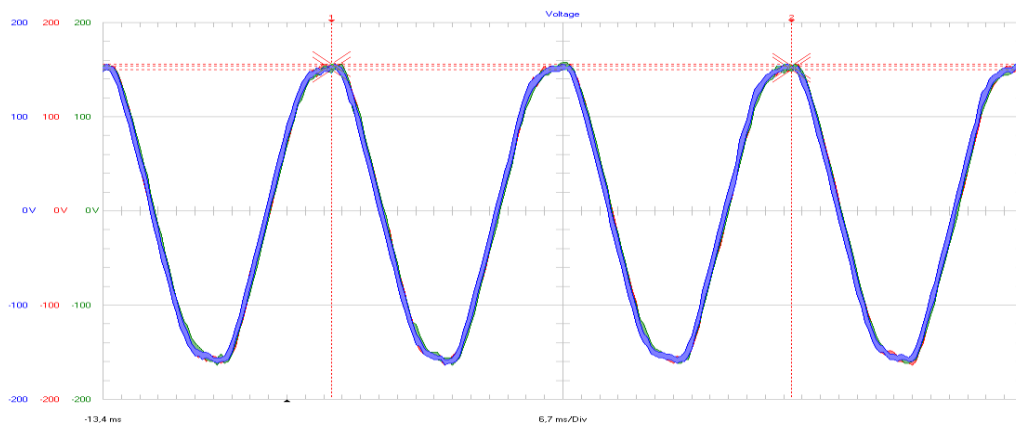


Ilustración 35. V luminarias Ahorradoras.

Nombre	Tensión	Tensión	Tensión
Escala en el eje Y	100 V/Div	100 V/Div	100 V/Div
Escala en el eje X	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
Max	157 V	159 V	159 V
Min	-165 V	-165 V	-165 V

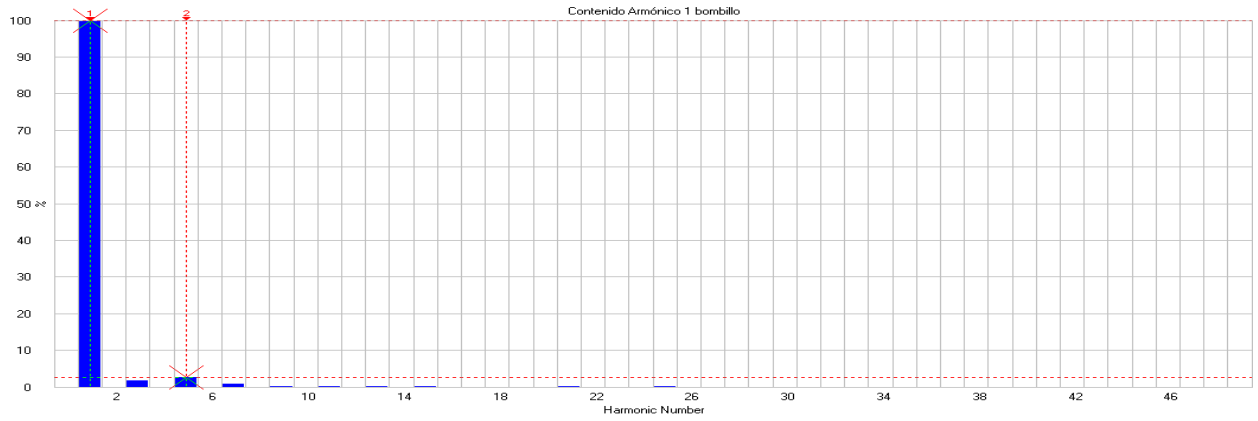


Ilustración 36. Armónicos V 1 Ahorradora.

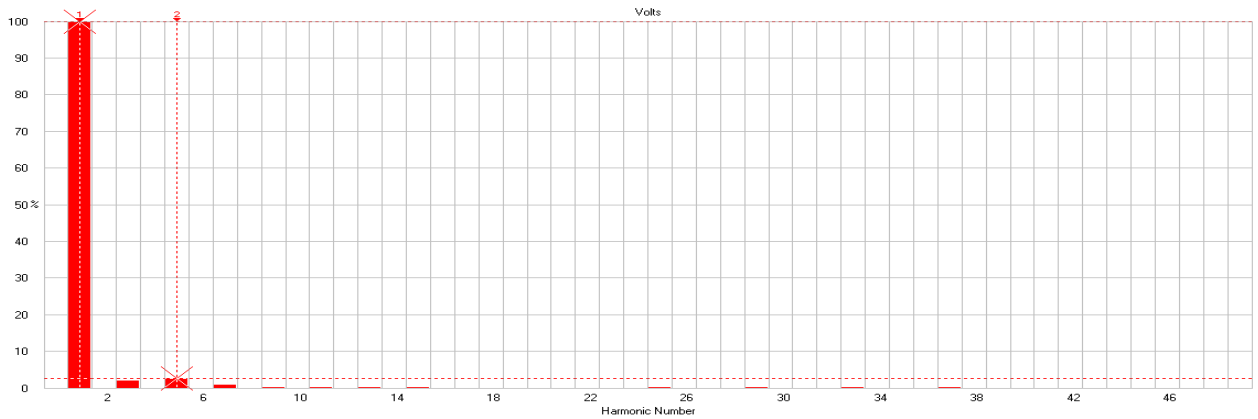


Ilustración 37. Armónicos V 5 Ahorradoras.

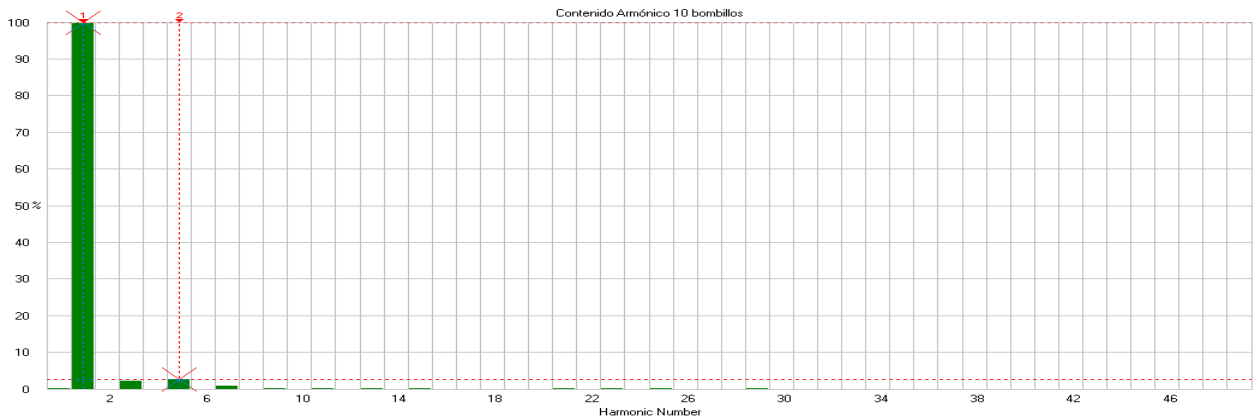


Ilustración 38. Armónicos V 10 Ahorradores.

Nombre	Voltaje	Voltaje	Voltaje
Fundamental	60 Hz	60 Hz	60Hz
THD	3,4%	3,5%	3,7%

Tabla 6. Mediciones de armónicos de V.

Al observar la *ilustración 35* en la cual se encuentran superpuestas las gráficas de tensión para 1 bombilla (azul), 5 bombillas (rojo) y 10 bombillas (verde), es claro que la forma de onda no se ve muy afectada, sin embargo, al observar las gráficas del contenido armónico para cada una de las cargas mencionadas anteriormente y teniendo en cuenta la *tabla 6*, se observa un aumento en la distorsión armónica total, que aunque en este caso no es significativa, sí indica que el uso de este tipo de luminarias a una mayor escala, puede generar una distorsión armónica mayor así como distorsiones en la forma de onda de tensión, las cuales a su vez, afectan seriamente la calidad de la energía.

Al analizar las luminarias LED, se observó que su comportamiento es similar al de las luminarias ahorradoras, dado que tanto en corriente como en tensión se mantiene la forma de onda. Por otro lado como en este caso la amplitud de la señal de corriente no es significativa, su uso a una mayor escala no tendría efectos degenerativos en la red de distribución. A continuación se relacionan los resultados correspondientes al análisis en corriente y tensión para este tipo de luminarias:

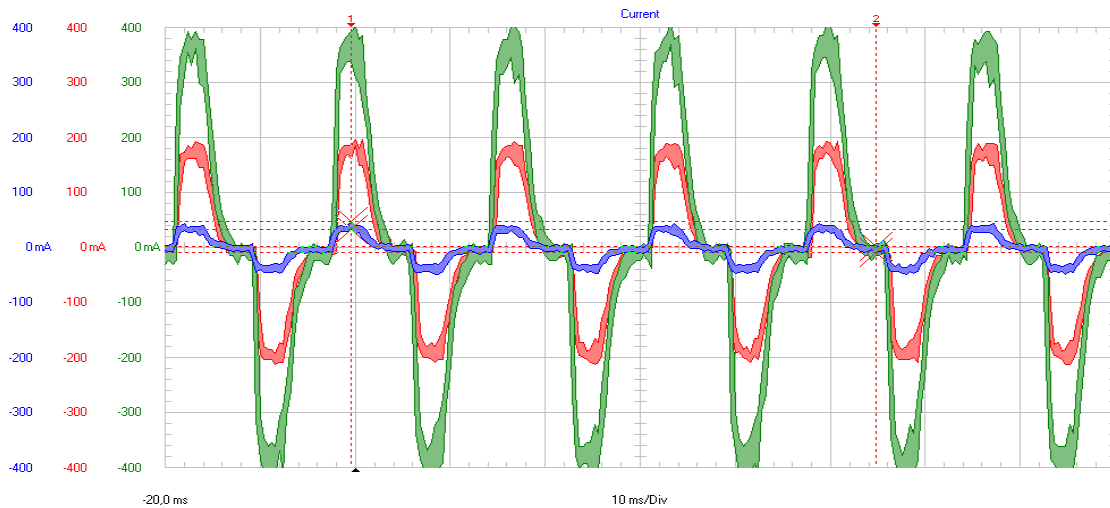


Ilustración 39. I luminarias LED

Nombre	Corriente	Corriente	Corriente
Escala en el eje Y	100 mA/Div	100 mA/Div	100 mA/Div
Escala en el eje X	10 ms/Div	10 ms/Div	10 ms/Div
Max	48 mA	198 mA	410 mA
Mín	-50 mA	-213 mA	-418 mA

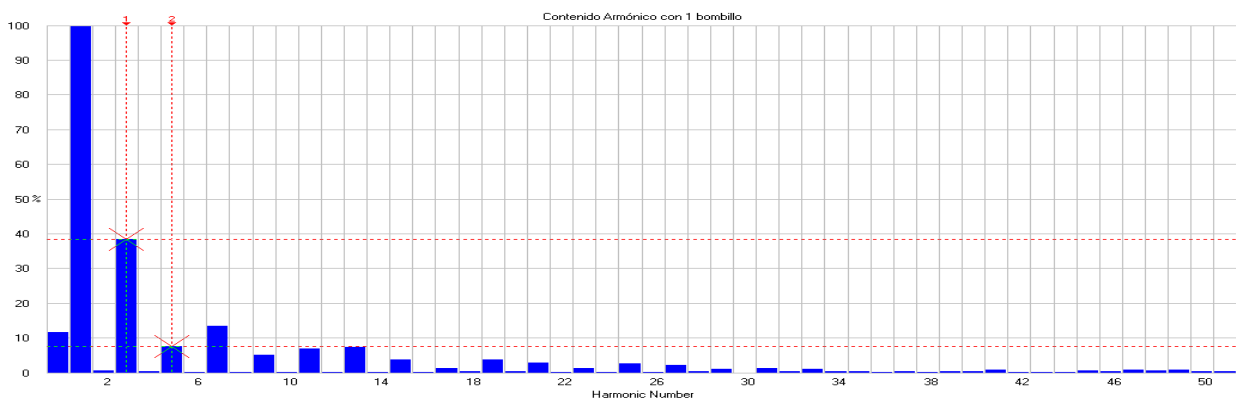


Ilustración 40. Armónicos I 1 LED

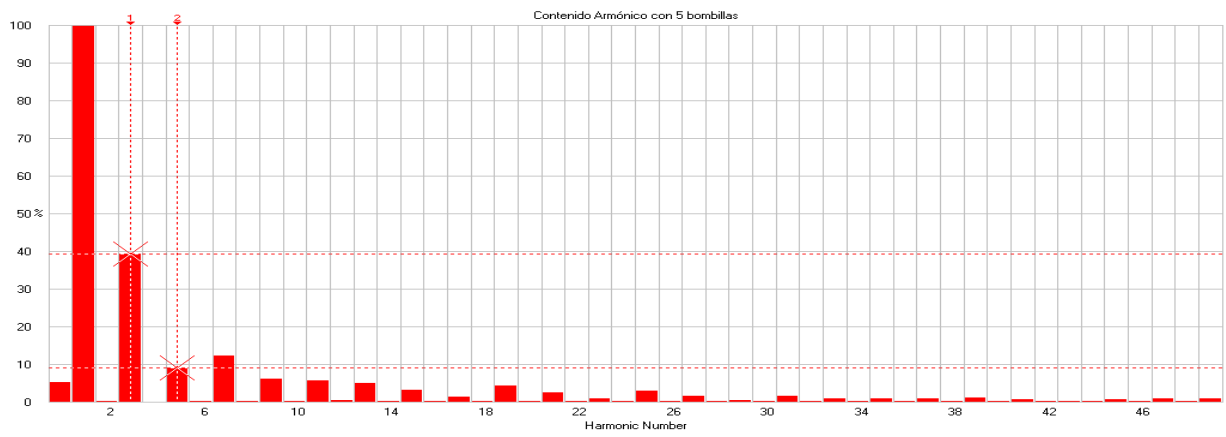


Ilustración 41. Armónicos I 5 LED

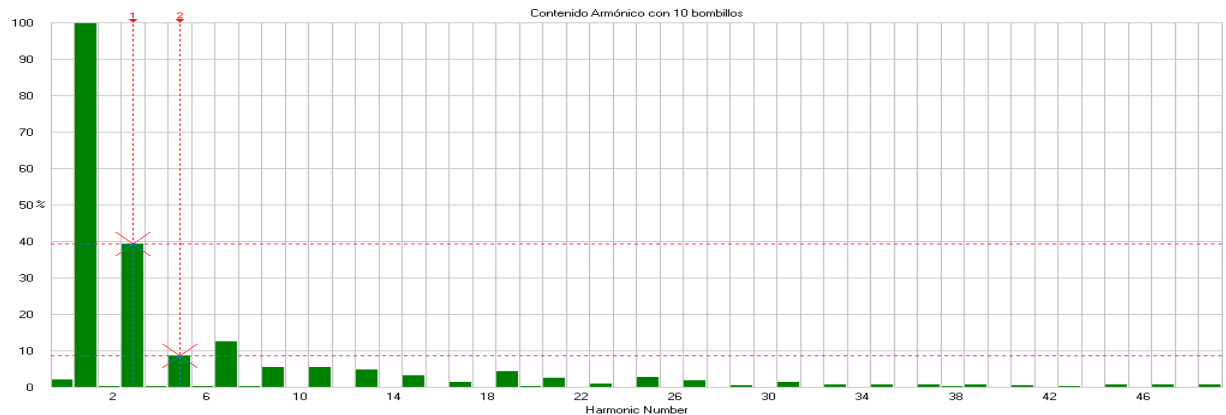


Ilustración 42. Armónicos I 10 LED

Nombre	Amperios	Amperios	Amperios
Fundamental	60 Hz	60 Hz	60Hz
THD	40,2%	44,1%	43,7%
Armónico N° 3	38,5%	39,4%	39,3%
Armónico N° 5	7,7%	9,1%	8,7%

Para el caso de la tensión se obtuvieron los siguientes resultados:

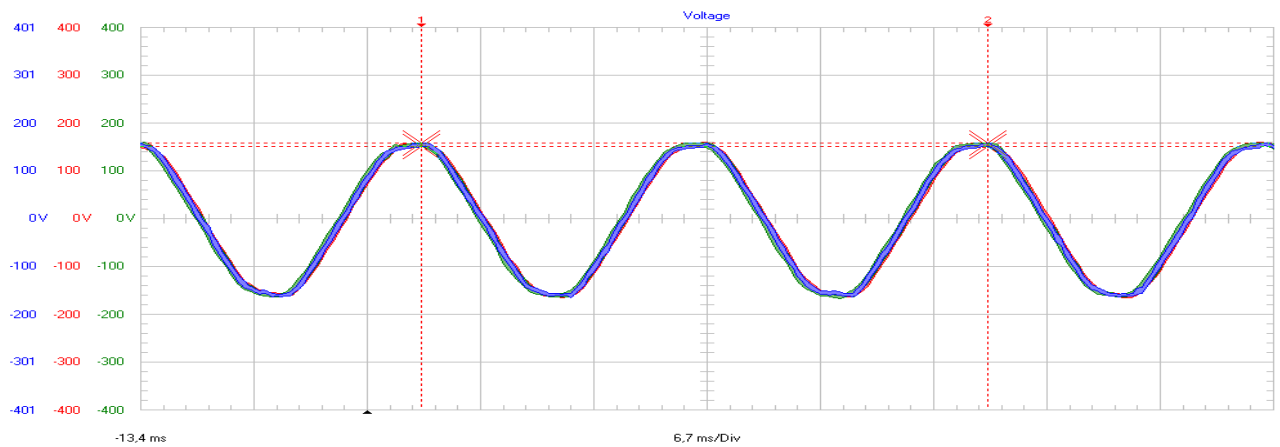


Ilustración 43. V luminarias LED

Nombre	Voltaje	Voltaje	Voltaje
Escala en el eje Y	100 V/Div	100 V/Div	100 V/Div
Escala en el eje X	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div	6,7 ms/Div
Max	159 V	161 V	161 V
Min	-167 V	-167 V	-169 V

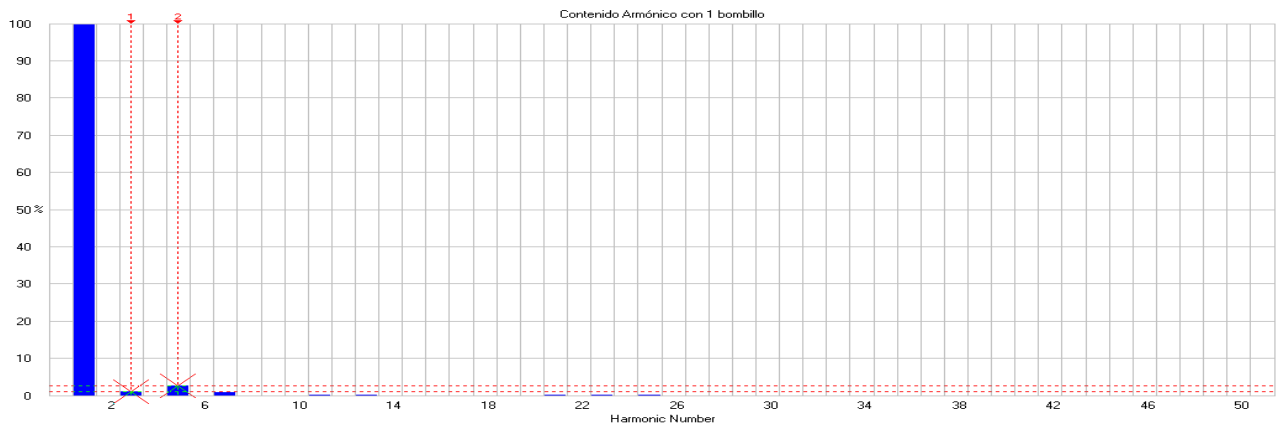


Ilustración 44. Armónicos V 1 LED

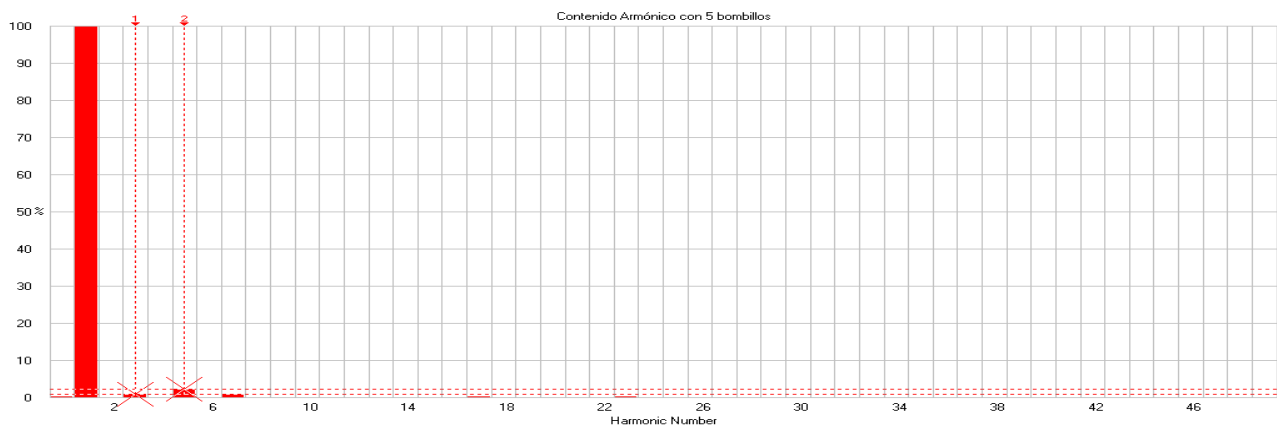


Ilustración 45. Armónicos V 5 LED

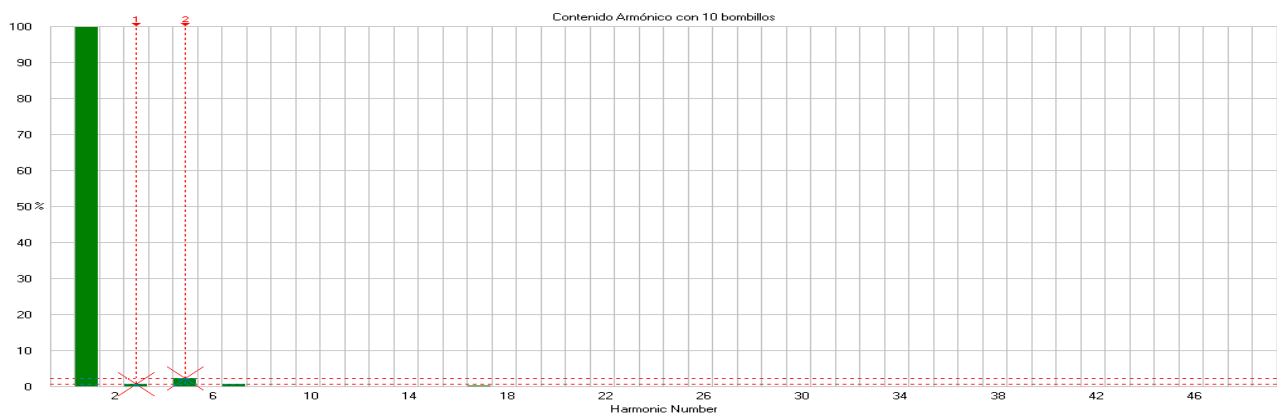


Ilustración 46. Armónicos V 10 LED

Nombre	Voltaje	Voltaje	Voltaje
Fundamental	60 Hz	60 Hz	60Hz
THD	3,1%	2,5%	2,5%

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g. half-wave converters, are not allowed.

* All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{sc}/I_L .

Where

I_{sc} = maximum short-circuit current at PCC.

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

TDD = Total demand distortion (RSS), harmonic current distortion in % of maximum demand load current (15 or 30 min demand).

PCC = Point of common coupling.

Tabla 7. Límites de Distorsión de Corriente para Sistemas de Distribución (120 V a 69 KV).

Al observar la *tabla 7* se comprueba que para el caso de estudio la distorsión presentada en el caso de las luminarias ahorradoras no es significativa para la red de distribución y por tanto el contenido armónico que presentan no afecta la calidad de la energía; por otra parte si se hace un uso a mayor escala de este tipo de bombillas se pueden producir efectos altamente nocivos para la calidad de la energía eléctrica dado que los límites no aumentan proporcionalmente a la demanda.

Como observaciones generales a esta segunda etapa se tiene:

- En todos los casos se puede observar que hay un aumento en la potencia debido al aumento en la demanda en corriente, sin embargo en el caso de las luminarias incandescentes se puede observar una pérdida de gran parte de esa potencia en calor, lo cual las hace ineficientes en el uso diario.
- Las luminarias ahorradoras tienden a generar deformaciones en la forma de onda de la tensión aumentando la distorsión armónica total de la misma y, aunque el aumento no es significativo, puede generar daños a la red de distribución y los demás usuarios conectados a la misma.
- Las luminarias halógenas presentan un comportamiento muy similar al de las incandescentes con la diferencia de que su relación de lux por watt en la medición individual es más alta que la de cualquier otra luminaria, sin embargo presenta problemas de calentamiento que no hacen recomendable su uso durante largos periodos de tiempo.
- Las luminarias LED aunque presentan en principio un comportamiento similar al de las luminarias ahorradoras, al tener un contenido armónico menor, no afectan de manera significativa la forma de onda de la tensión ni la calidad de la energía eléctrica.
- Las luminarias fluorescentes presentan problemas a largo plazo dado que un uso constante generará alteraciones en la forma de onda de la tensión produciendo principalmente el efecto denominado “flicker”, el cual en algunos casos puede ser bastante perjudicial para la salud. Es importante resaltar que el comportamiento descrito y sus efectos dependen en gran medida de la calidad del balasto usado con estas luminarias.

5. CONCLUSIONES.

- ❖ Al realizar las mediciones se observó que la tensión no varió en su forma de onda, esto se esperaba en casos como el de las luminarias incandescentes o halógenas por su comportamiento lineal; sin embargo se presenta en todos los casos y se debe a que la carga generada por estos arreglos no es significativa para la acometida del edificio, y de esta manera no se afecta de forma visible la calidad de la energía.
- ❖ Las corrientes no senoidales provocan que la tensión sufra caídas (sags), distorsionado su forma de onda en sectores de la red de distribución, lo cual ocasiona que el usuario sufra estos efectos teniendo en ocasiones consecuencias nocivas en los dispositivos que esté utilizando. Estas corrientes senoidales se observaron en las luminarias ahorradoras y las LED lo cual se refleja en su alto contenido armónico en corriente lo que a su vez genera deformaciones en la forma de onda del voltaje, causando dichas caídas.
- ❖ Al utilizar los tubos fluorescentes con balastos electrónicos se reducen en gran parte las deformaciones en la tensión que se presentan en su utilización con otro tipo de balastos, sin embargo debido a su funcionamiento y hacia el final de su vida útil pueden generar intermitencias que afectan en diferentes grados, dependiendo del caso, la salud de las personas.
- ❖ En el caso de las luminarias ahorradoras y LED, se observó que el factor de desplazamiento es bastante menor a 1 lo cual no sólo refleja su comportamiento no lineal, sino que es un indicativo de un adelanto de la corriente con respecto a la tensión de carácter capacitivo.

6. BIBLIOGRAFÍA.

1. (CBEMA), I. (Octubre de 2000). <http://www.itic.org>. Recuperado el 11 de julio de 2011, de <http://www.itic.org/clientuploads/oct2000Curve.pdf>
2. Bingham, R. (1998). *Sags and Swells*.
3. CREG (Comision de Regulacion de Energia y Gas). (1998). *Resolucion 70 mayo 28-1998 ANEXO General Reglamento de Distribucion de Energia Electrica*. Bogota: CREG.
4. IEEE std 1159-1995. (1995). *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. IEEE Standards Board.
5. IEEE Std 519-1992. (1992). *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. IEEE Standars Board.
6. O'Donell. B.M, Sandoval. J.D y Paukste. F. (2002). *Fuentes Luminosas*.
7. Sakthivel, K. C. (2003). Importance of Quality AC Power Distribution and Understanding of EMC Standards IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3 & IEC 61000-3-11. *INCEMIC . 8th International Conference on Electromagnetic Interference and Compatibility.*, (págs. 423 - 430).
8. Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente. *Calidad de la Energía Eléctrica*. Colciencias.

ANEXOS.

En esta sección encontrara el material utilizado para la realización de la investigación. En la carpeta ANEXOS que se encuentra en el CD adjunto, encontrar dos carpetas:

1. **Carpeta de Mediciones PowerQuality Analyzer:** En esta encontrara las medidas realizada para tipo de luminaria y de acuerdo a la cantidad de bombillas utilizadas, de igual manera encontrara el software utilizado para la visualización de las mismas.
2. **Carpeta de Standar:** Aquí encontraras los artículos y estándares utilizados como base teórica utilizados para la realización de este proyecto.