

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE EFECTOS DERIVADOS DE LA APLICACIÓN DE DISPOSITIVOS DE ESTADO SÓLIDO (ELECTRÓNICOS) EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN RESIDENCIALES COMO PARTE DEL PROYECTO DE SUSTITUCIÓN MASIVA DE LÁMPARAS INCANDESCENTES POR LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS (FOCOS AHORRADORES) EN EL ECUADOR”

### **EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)**

Previa a la obtención del grado de:

### **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

DAVID MAURICIO ORDÓÑEZ ALVARADO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2015

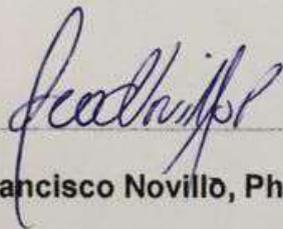
## AGRADECIMIENTO

A Dios y su bendita Madre, la Santísima Virgen María. Mi eterno agradecimiento a mi familia, especialmente a mi madre Dra. Lourdes Alvarado y mi abuelita Olga Tamayo vda. de Armendáriz (+); al Gobierno Nacional por su visión y liderazgo en ejecutar el Proyecto de Sustitución de Focos Ahorradores y a las autoridades del sector eléctrico por habernos confiado la tarea de hacerlo realidad en los hogares; al personal del CEFEN quienes hicieron posible la Revolución Energética. A los amigos de la Eléctrica de Guayaquil y de ECU5 S.A., por su colaboración.

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre Lourdes, mi tía Lupe, mi abuelita Olga (+), mi primo Xavier, mi primita Vilma (+), mi tía Vilma (+), mi abuelito Perfecto (+), a Sofía, y a mis sobrinos y ahijados.

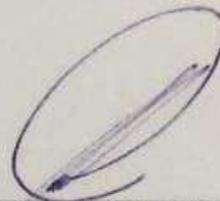
## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**Francisco Novillo, Ph.D.**

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC



**José Menéndez S, MSc.**

PROFESOR DELEGADO

POR LA SUBDECANA DE LA FIEC

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Informe me corresponde exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



David Mauricio Ordoñez Alvarado

## RESUMEN

En el marco de la ejecución del Proyecto Nacional de Sustitución de Focos Ahorradores, los procesos logísticos de campo requirieron un subproceso de verificación de las condiciones de despacho de las Lámparas Fluorescentes Compactas con la finalidad de asegurar un nivel de servicio de alta calidad a la ciudadanía, así como el fortalecimiento de las acciones de promoción del uso de los Focos Ahorradores mediante la generación de confianza en el desempeño del dispositivo entregado.

La estimación de los efectos derivados del uso de Lámparas Fluorescentes Compactas se desarrolló con esos objetivos, el asegurar la calidad de los dispositivos entregados como sistemas de iluminación eficientes para su aplicación en las residencias así como el fortalecimiento de las políticas de promoción de uso de estas lámparas denominadas Focos Ahorradores.

El uso de dispositivos electrónicos para el control de servicios de potencia eléctrica ha logrado resultados importantes en la iluminación de los hogares. El recambio tecnológico era urgente frente a las limitaciones de la oferta. El programa masivo de sustitución demostró ser un proyecto efectivo, eficiente, que mantuvo el nivel de iluminación que existía en las viviendas y este estudio demostró que las desventajas que podrían provenir de las formas de onda conmutadas y los contenidos armónicos de estas señales no son significantes, más aún frente a los significativos beneficios en reducción de demanda y creación de conciencia ciudadana en favor de la eficiencia energética.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA .....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
INTRODUCCIÓN.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
1. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA.....	1
1.1 Revisión y análisis de los elementos teóricos relevantes y referencias normativas relacionadas .....	4
1.1.1 Principios de funcionamiento de CFLs .....	5
1.1.2 Modelado de efectos del uso del Balasto Electrónico en la forma de onda de la línea de alimentación de Corriente Alterna (AC) .....	7
1.1.3 Normas aplicables al presente estudio.....	13
1.2 Mediciones TEST 1 en Tablero de Pruebas .....	15
1.3 Mediciones TEST 2 en Tablero de Pruebas .....	22
1.4 Mediciones TEST 3 en Tablero de Pruebas. Evaluación de Conformidad por Inspección de Atributos.....	24
1.5 TEST 4 - Verificación en Campo de Requisitos Generales para las CFLs .....	28
CAPÍTULO 2.....	29
2. RESULTADOS OBTENIDOS .....	29
2.1 Resultados del TEST 2 – Banco de Pruebas Luminarias con Simulación de Carga Doméstica .....	29
2.2 TEST 3 – Inspección de Atributos / 80 Muestras.....	40
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
ANEXOS .....	49

ANEXO A Test 1 – Tablero de Pruebas Operando sólo con Luminarias.....	50
ANEXO B Test 4 – Verificación en Campo de Requisitos Generales.....	58
ANEXO C Abreviaturas y Glosario de Términos .....	60
BIBLIOGRAFÍA.....	63

## INTRODUCCIÓN

Como parte de la política nacional de Eficiencia Energética y como medida urgente para aliviar la presión sobre la brecha oferta-demanda del sistema eléctrico nacional, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable implementó durante los años 2008-2011 varias fases del Proyecto de Sustitución Masiva de Focos Incandescentes por Luminarias Fluorescentes Compactas (Focos Ahorradores) como un mecanismo de gestión sobre la demanda. La ejecución de este programa exigió el diseño de un sistema de operación técnica-logística de campo.

Como parte de sus actividades técnicas, uno de los sub-procesos técnicos implementados fue la verificación de las condiciones técnicas de las Luminarias Fluorescentes Compactas. Este sub-proceso exigió el diseño y aplicación de una metodología que identifique y permita estimar los efectos derivados del funcionamiento de los dispositivos y sistemas electrónicos constitutivos de la Lámpara Fluorescente Compacta, necesarios para el arranque y funcionamiento en régimen estacionario de dicho dispositivo.

El informe se divide en dos capítulos. Capítulo 1 Metodología o Solución Tecnológica implementada, se realizó un análisis de la tecnologías de las Lámparas Fluorescentes Compactas (focos ahorradores); el análisis de los circuitos electrónicos constitutivos del balastro electrónico del foco ahorrador; el análisis de las Señales de Onda generadas por el sistema electrónico constitutivo del foco ahorrador; el análisis de efectos derivados de estas señales de onda y de la interacción con la red eléctrica; el análisis de la distorsión armónica, sus efectos y los límites de distorsión aceptables; así como revisión de normas relacionadas.

Además se exponen los procedimientos de medición y los equipos e instrumentos que se utilizaron.

En el Capítulo 2: Resultados Obtenidos se presentan los datos registrados en la mediciones y pruebas, análisis de resultados para cada TEST y la comparación con mediciones cruzadas entre instrumentos, valores esperados y rangos establecidos en las normas. También se presentan resultados de las operaciones en campo.

En Conclusiones y Recomendaciones se expone la relación entre las variables y parámetros sometidos a estudio.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA**

El objetivo general del presente estudio fue estimar y analizar de forma sistemática y documentada, los efectos derivados de la utilización de los componentes electrónicos constitutivos de las Lámparas Fluorescentes Compactas (CFLs) también conocidas como “Focos Ahorradores”, específicamente utilizadas en el marco de la implementación del “Proyecto Nacional de Sustitución de Focos Incandescentes por Focos Ahorradores” del Gobierno Nacional (2008-2011), para determinar la eficacia y eficiencia del dispositivo, verificar su correcto funcionamiento dentro de parámetros normalizados y estimar los beneficios agregados para los usuarios finales (ciudadanía), derivados del uso de estos dispositivos en la iluminación de las residencias ecuatorianas.

Con estos resultados, además del aseguramiento técnico de la calidad del lote de luminarias destinadas para uso de la población y un significativo impacto positivo en la Matriz Energética Nacional por el lado de la demanda, se logró contribuir al fortalecimiento de las políticas públicas ecuatorianas de promoción general de la eficiencia energética en el Ecuador, de forma directa hacia la ciudadanía; pues la verificación de la calidad permitió lograr un alto nivel de satisfacción de los usuarios y en consecuencia establecer un nivel de confianza, apertura y conciencia por parte de la población beneficiaria de este Programa sobre qué es la eficiencia energética, y los beneficios generales de tomar acciones domésticas por mejorar la eficiencia energética del hogar, con el uso de tecnologías nuevas; además la información derivada de este estudio contribuyó con los organismos ejecutores en territorio, al estimar el porcentaje esperado de unidades que no cumplían con los requisitos establecidos y por tanto no podían ser entregados a la ciudadanía; esta estimación ayudó de forma efectiva a prever los niveles y límites esperados para la incidencia de novedades por fallas de origen<sup>1</sup> y así planificar y optimizar los procesos de control de operaciones en territorio, dimensionar la infraestructura para almacenamiento del material no-conforme y prever los procesos de gestión de ese material inconforme, tales como procesos de reclamos y devoluciones al fabricante.

Metodológicamente el estudio de los efectos derivados de la aplicación de dispositivos de Estado Sólido en los sistemas de Iluminación Residencial para el Programa Nacional de Focos Ahorradores, se abordó en cinco fases:

---

<sup>1</sup> Fallas de origen tales como desperfectos de fábrica, siniestros en el transporte desde la fábrica al almacenamiento, fallas por condiciones en el almacenamiento en bodegas intermedias tales como humedad, etc.

1. Revisión y análisis de los elementos teóricos relevantes y referencias normativas relacionadas con la tecnología de CFLs.
2. Mediciones denominadas “TEST 1” en Banco de Prueba de laboratorio, considerando un circuito conformado sólo con luminarias: CFLs o Incandescentes.
3. Mediciones denominadas “TEST 2” en Banco de Prueba de laboratorio, considerando el funcionamiento de las luminarias en conjunto con otras cargas eléctricas típicas de un hogar ecuatoriano.
4. Ensayos y mediciones de laboratorio denominadas “TEST 3”, para la verificación de la conformidad de los atributos y requisitos referidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 036:2010 “Eficiencia Energética. Lámparas Fluorescentes Compactas. Rangos de Desempeño Energético y Etiquetado” [1] y la Norma Técnica Ecuatoriana INEN NTE INEN-IEC 901:2002 “Lámparas Fluorescentes Compactas. Especificaciones de Rendimiento” [2]; según plan de muestreo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 2859-1:2009 – Norma Técnica Ecuatoriana “Procedimientos de Muestreo para Inspección por Atributos. Parte 1. Programas de Muestreo Clasificados por el Nivel Aceptable de Calidad (AQL) para Inspección Lote a Lote [3], para verificación de lote de 500.000 focos ahorradores, y bajo los lineamientos del Procedimiento de Evaluación de la Conformidad de “Lámparas Fluorescentes Compactas “ INEN, PEC INEN 005 [4], midiendo los siguientes parámetros:
  - Potencia eléctrica consumida

- Factor de potencia
- Flujo luminoso
- Eficacia energética
- Distorsión armónica total de Tensión (THDv)
- Distorsión armónica total de Corriente (THDi) y,
- Requisitos generales de las Lámparas Fluorescentes Compactas.

5. Verificación en Campo del cumplimiento de Requisitos Generales (estado físico, etiquetado, etc.) establecidos para las Lámparas Fluorescentes Compactas, del total de ítems de los lotes sustituidos, según los lineamientos contenidos en las mismas normativas INEN referidas en el punto anterior.

Una vez obtenidos y registrados los resultados de las pruebas se analizan y comparan los parámetros analizados entre las dos tecnologías (focos incandescentes vs. CFLs); y en lo que corresponde a la evaluación de la muestra de CFLs se compara con los valores o límites de desempeño esperados en la normativa correspondiente, para desarrollar las conclusiones.

### **1.1 Revisión y análisis de los elementos teóricos relevantes y referencias normativas relacionadas**

En esta fase del estudio se delimitaron los fenómenos y las variables relevantes de observación mediante la identificación de dichos fenómenos físicos, así como de los elementos que operan para el funcionamiento de las CFLs.

### 1.1.1 Principio de funcionamiento de las CFLs

A diferencia de los focos incandescentes cuyo principio de iluminación es la radiación térmica, las lámparas fluorescentes compactas fundamentan su funcionamiento en la luminiscencia; que consiste en la radiación electromagnética producida por la emisión de fotones de luz emitidos hacia la capa fluorescente que recubre internamente el vidrio del tubo de vidrio de la CFL, produciendo luz visible; estos fotones son el resultado de procesos de ionización y excitación de los gases inertes contenidos en el tubo, energizados por un arco eléctrico.

El encendido de la CFL se realiza en dos fases: primero el arranque del arco, que consiste en el establecimiento de un flujo de electrones mediante un puente plasma producido por los filamentos; y una vez en operación este arco, la segunda fase consiste en el sostenimiento de la ionización del gas inerte contenido en los tubos, que son los que producen la luminiscencia [5], [6].

Los principales elementos constitutivos de una CFL se pueden apreciar en la Figura 1.1.



**Figura 1.1: Elementos constitutivos de una CFL (Adaptación del autor de imagen recuperada del sitio web Afinidad Eléctrica <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=133>, 2015) [7]**

En esta figura se observa el tubo fluorescente que contiene un gas inerte, como es el mercurio en fase gaseosa; y está recubierto internamente de un material que tiene propiedades luminiscentes, tales como pinturas con elementos de flúor; se puede observar la conexión de los filamentos que producirán el arco y el puente de plasma ionizante del gas inerte; se observa el balasto electrónico que es el circuito compuesto de dispositivos electrónicos de estado sólido; se observa la base plástica que sirve como recubrimiento de los componentes electrónicos y soporte de la luminaria; y el dispositivo de conexión del usuario a la red de servicio eléctrico, que consiste en una rosca tipo E-27 [7], [8].

Cabe destacar que la rosca E-27 permite la instalación de esta lámpara en las boquillas tradicionales, utilizadas con las luminarias incandescentes y ampliamente disponibles en los hogares ecuatorianos.

Con la sustitución de CFLs en lugar de focos incandescentes se esperaba obtener los siguientes beneficios:

- Una mayor eficiencia lumen/watt.
- Un adecuado flujo luminoso, al menos el mismo que se obtenía antes de la sustitución con los focos incandescentes.
- Reducción en el consumo final de energía utilizada.

Con relación a otras tecnologías luminiscentes, tales como las antiguas lámparas de tubos fluorescentes de balasto electromagnético se esperaba además eliminar el peligroso efecto estroboscópico que constituía un alto riesgo en ambientes industriales con maquinarias rotativas móviles, mediante la implementación de una solución de alta frecuencia para la formación del arco de excitación ionizante [8].

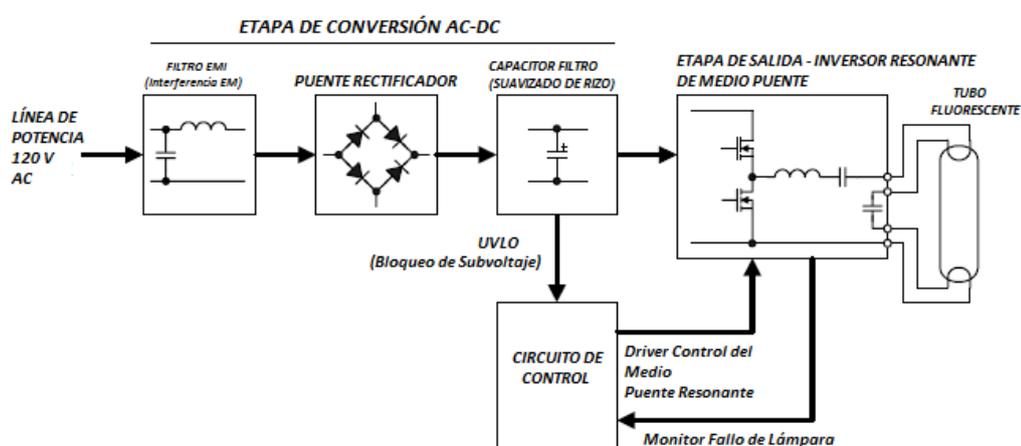
#### **1.1.2 Modelado de efectos del uso del Balasto Electrónico en la forma de onda de la línea de alimentación de Corriente Alterna (AC)**

El balasto electrónico es el circuito conformado por componentes de estado sólido encargado de dos procesos:

- Generar el encendido de la lámpara produciendo la Tensión de Arranque que genera el arco eléctrico.
- Una vez encendida la lámpara, su función es limitar la corriente de operación para proveer un voltaje de operación correcto que permita

mantener estable el efecto de luminiscencia, es decir la producción de luz visible [7], [8].

Existen varios diseños y especificaciones, dependiendo de las condiciones de uso de las luminarias; en la Figura 1.2 se ilustra un diagrama de bloques de un balasto electrónico simple.



**Figura 1.2: Diagrama de Bloques de un Balasto Electrónico (Adaptación del autor de imagen contenida en Persson Eric, Design of Electronic Ballast, International Rectifier Company. 2009) [9]**

En el diagrama podemos observar tres grandes bloques funcionales: el primero es la Etapa de Conversión de Corriente Alterna (AC) a Corriente Directa (DC) que se conecta a la red de servicio público eléctrico (120V).

En segundo lugar la Etapa de Salida constituida por un Inversor Resonante de Medio Puente. Y en tercer lugar un bloque de Monitoreo y Control de la señal proveniente del Inversor de Medio Puente.

Podemos observar que en el lado AC, la línea ha sido conectada directamente<sup>2</sup> al puente rectificador de diodos eliminando el transformador para reducción de voltaje, que era común en las tecnologías más antiguas.<sup>3</sup> Este diseño permitió a las CFLs ser dispositivos livianos y pequeños.

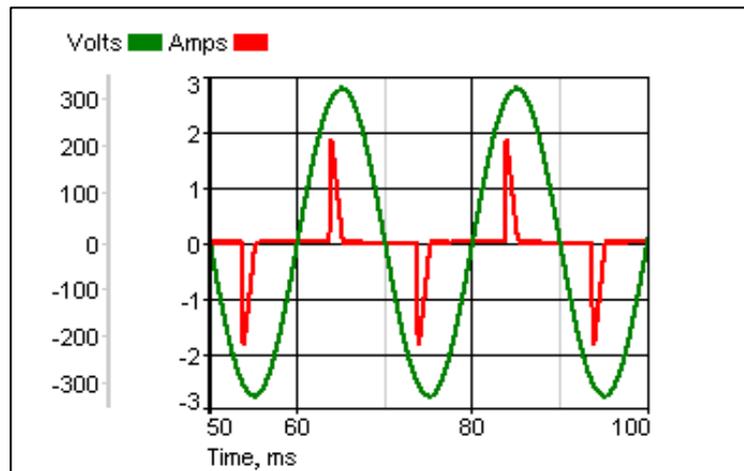
La eliminación de esta inductancia en el lado AC, produce que la línea de potencia entregue directamente corriente para cargar el capacitor de suavizado de rizo, solamente en pequeños instantes de tiempo; mientras que la mayoría del tiempo los diodos del puente rectificador se encuentran en estado de no-conducción y no permiten el paso de la corriente [10].

Este comportamiento produce una forma de onda de corriente típicamente pulsante, que se ilustra en la figura 1.3, a continuación.

---

<sup>2</sup> El filtro EMI (Interferencia Electromagnética) mostrado en la figura es una opción de diseño que tiene la función de filtrar componentes armónicos provenientes de la señal de alimentación AC, lo que no modifica en esencia el funcionamiento del puente rectificador.

<sup>3</sup> En la práctica, el transformador en el lado AC es aún utilizado comúnmente en muchos adaptadores AC/DC para bases de teléfonos inalámbricos, teléfonos celulares, tablets, handhelds, instrumentos musicales electrónicos, etc.



**Figura 1.3: Formas de Onda típicas del Vrms e Irms en el lado AC de un convertidor AC-DC Conmutado. (Imagen recuperada del sitio Elliot Sound Products: <http://sound.westhost.com/articles/inrush.htm>, 2015) [11]**

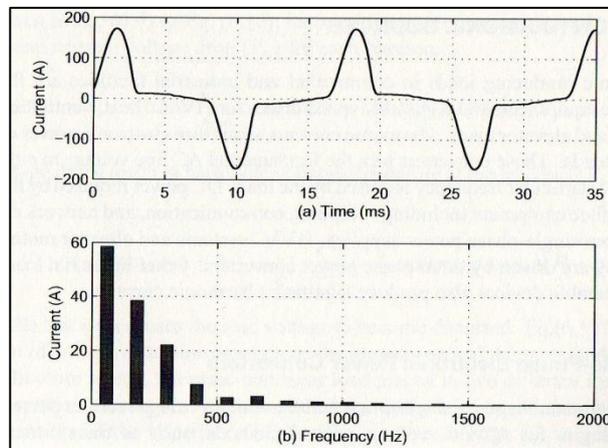
Podemos observar el estado de conducción de corriente durante cortos periodos de tiempo cada medio ciclo, que es muy típico de típico de las CFLs así como de las lámparas fluorescentes tradicionales [12].

Cabe anotar que por esta configuración del convertidor AC-DC, es usual que desde el lado de la línea de potencia se observe una carga capacitiva en la que el voltaje se retrasa a la corriente [13],[14], característica también observada usualmente en las CFLs [15].

Mediante la utilización del análisis de Fourier es posible demostrar que una forma de onda periódica no sinusoidal de frecuencia  $\omega_0$  se puede descomponer en una sumatoria de componentes sinusoidales de frecuencias múltiplos de esta frecuencia fundamental [16], que se expresa en la ecuación 1.1:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t) \quad (1.1)$$

Estos componentes son los denominados armónicos en el espectro de frecuencia. La figura 1.4 ilustra la Forma de Onda de Corriente (medida en Amperios) en tiempo y su correspondiente espectro de frecuencias, característica de las fuentes de poder conmutadas similares a la etapa de conversión AC/DC de una CFL [10], [15].



**Figura 1.4: Forma de Onda de Corriente en la línea AC y su espectro armónico, en el lado AC de un convertidor AC-DC. (Tomada de Santoso, Surya, *Fundamentals of Electric Power Quality*, University of Texas at Austin, Winter 2010 Edition.) [10]**

Para el análisis y estudio de armónicos en AC son aplicables los conceptos y metodologías desarrollados en la ingeniería eléctrica para estudiar la “Calidad de Potencia Eléctrica”.

Además de los objetivos específicos, cabe indicar que el estudio de componentes armónicos en general, es importante para prevenir o corregir sus efectos nocivos, tales como:

- Aumento de pérdidas por efecto Joule.
- Sobrecalentamiento de conductores del neutro.
- Sobrecalentamiento y pérdida de vida útil de equipamiento eléctrico, cables, motores, transformadores, etc.
- Pérdida de eficiencia de equipamiento eléctrico, transformadores, etc.
- Interferencias en sistemas de telecomunicaciones [15],[17].

En este estudio hemos utilizado dos de los índices más utilizados para medir la distorsión armónica en la forma de onda AC de potencia que son: la Distorsión Armónica Total (THD por sus siglas en inglés) especificado para voltaje THD<sub>v</sub> así como para corriente THD<sub>i</sub>.

La Distorsión Armónica Total (THD) es estimada mediante la relación entre el voltaje o la corriente efectiva formada por efecto de todos los componentes armónicos ( $V_{rmsH}$  ó  $I_{rmsH}$ ), distintos a la frecuencia fundamental (esto es  $n = 2, 3, \dots \infty$ ), con respecto a su respectivo voltaje o corriente efectiva de frecuencia fundamental ( $V_{rms,1}$  ó  $I_{rms,1}$ ) [10]; para el servicio eléctrico ecuatoriano en AC, la frecuencia fundamental es 60Hz; de esta manera se modelan las ecuaciones 1.2 y 1.3:

$$THD_V = \frac{V_{rmsH}}{V_{rms,1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{h_{max}} V_{rms,n}^2}}{V_{rms,1}} \quad (1.2)$$

$$THD_I = \frac{I_{rmsH}}{I_{rms,1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{h_{max}} I_{rms,n}^2}}{I_{rms,1}} \quad (1.3)$$

### 1.1.3 Normas Aplicables al presente Estudio

Las siguientes normas fueron revisadas para su aplicación voluntaria como orientación metodológica al presente estudio. Constituyen un referente aprobado por autoridad ecuatoriana competente para el establecimiento de procedimientos, determinación de rangos permitidos de variables y criterios de conformidad o no-conformidad.

Normas Relacionadas con las Lámparas Fluorescentes Compactas:

- RTE INEN 036:2010 – Reglamento Técnico Ecuatoriano “Eficiencia Energética. Lámparas Fluorescentes Compactas. Rangos de Desempeño Energético y Etiquetado” [1]
- NTE INEN-IEC 901:2002 – Norma Técnica Ecuatoriana “Lámparas Fluorescentes Compactas. Especificaciones de Rendimiento” Primera Edición. [2]
- NTE INEN-ISO 2859-1:2009 – Norma Técnica Ecuatoriana “Procedimientos de Muestreo para Inspección por Atributos. Parte 1. Programas de Muestreo Clasificados por el Nivel Aceptable de Calidad (AQL) para Inspección Lote a Lote.[3]
- PEC INEN 005 – Procedimiento de Evaluación de la Conformidad. “Lámparas Fluorescentes Compactas” [4]

- CIE 84:1989 – Comisión Internacional de Iluminación “Medición del Flujo Luminoso” [18]

Con relación a la norma NTE INEN-ISO 2859-1:2009 “Procedimientos de Muestreo para Inspección por Atributos”, se decidió utilizar el criterio de “Inspección de Atributos por Lotes” en razón de que el organismo ejecutor del Ministerio de Electricidad a nivel territorial, llamado Comité de Eficiencia Energética (CEFEN), tenía a su cargo el almacenamiento de CFLs en bodegas de despacho a usuarios finales, denominadas bodegas terciarias, que contaban con existencias de 500 mil ítems de CFLs, (equivalentes a cinco contenedores standard de 40 pies aproximadamente); este stock rotaba periódicamente con los despachos desde las bodegas secundarias (empresas eléctricas) y primarias (aduanas). Para este nivel de stock en almacenamiento, la norma permite el procedimiento de inspección por lotes.

Adicionalmente se consultaron las siguientes normas y reglamentos en materia de Calidad de Potencia Eléctrica:

- Resolución No. CONELEC 004/01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución” [19]
- IEEE Std-1159-2009 “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality” [20]
- UNE-EN 50160 “Características de la Tensión suministrada por las Redes Generales de Distribución” [21]

## 1.2. Mediciones TEST 1 en Tablero de Pruebas

Para los ensayos denominados TEST 1 se realizaron mediciones de parámetros eléctricos en un Tablero de Pruebas, con dos tipos de instrumentos de medición diferentes: un Logger o Registrador de Potencia marca FLUKE y un Analizador de Potencia marca AEMC, con el fin de comparar y confirmar los datos.

El objetivo general de TEST 1 fue identificar y delimitar los efectos que se pueden esperar, derivados del uso de las CFLs del programa del Gobierno Nacional en el sistema de iluminación de una residencia tipo. En ese sentido, como prueba inicial se seleccionan luminarias al azar, pero no se realiza una inspección de lote, como más adelante se realizará en la tercera prueba denominada TEST 3, la misma que sí contempló la aplicación de un plan de muestreo según la norma INEN NTE INEN-ISO 2859-1:2009 [3].

Como parámetros de medición de efectos se midieron y registraron los siguientes atributos eléctricos: a.Forma de Onda, b.Potencia Eléctrica, c.Factor de Potencia y d.Distorsión Armónica Total (THDv y THDi).

La prueba consistió en energizar una carga eléctrica monofásica conformada exclusivamente por luminarias, utilizando en primera instancia focos incandescentes de 110 W adquiridos en el mercado local; y luego reemplazándolos completamente por CFLs de 20 W pertenecientes al Programa Nacional de Sustitución de Focos Ahorradores del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable de la República del Ecuador.

Además se establecieron dos sub-clases de ensayos denominados TEST 1-G1 que consistió en el encendido de una sola luminaria en cada caso (incandescente y CFL); y TEST 1-G5 activando un grupo de 5 luminarias en cada caso; esto se realizó con el objetivo de caracterizar la unidad de iluminación y luego registrar los efectos del uso intensivo de una carga similar a la de un hogar tipo, con 5 luminarias en operación simultánea.

En esta prueba de laboratorio TEST 1, la finalidad fue medir los efectos del uso de las luminarias aislándolas de otro tipo de cargas eléctricas existentes frecuentemente en una residencia.

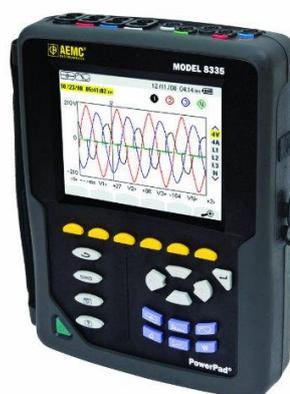
#### **Equipamiento Utilizado en los ensayos TEST 1**

- Registrador de Calidad de Potencia (Power Quality Logger) – FLUKE 1744, mostrado en la Figura 1.5.
- Analizador de Potencia Trifásico - Power Pad AEMC 8335, mostrado en la Figura 1.6.
- Tablero de prueba, con circuito de ensayo mostrado en la Figura 1.7.
- Cinco (5) Lámparas Incandescentes adquiridas en el mercado local.
- Cinco (5) Lámparas Fluorescentes Compactas del Programa Nacional de Focos Ahorradores del Gobierno Nacional.



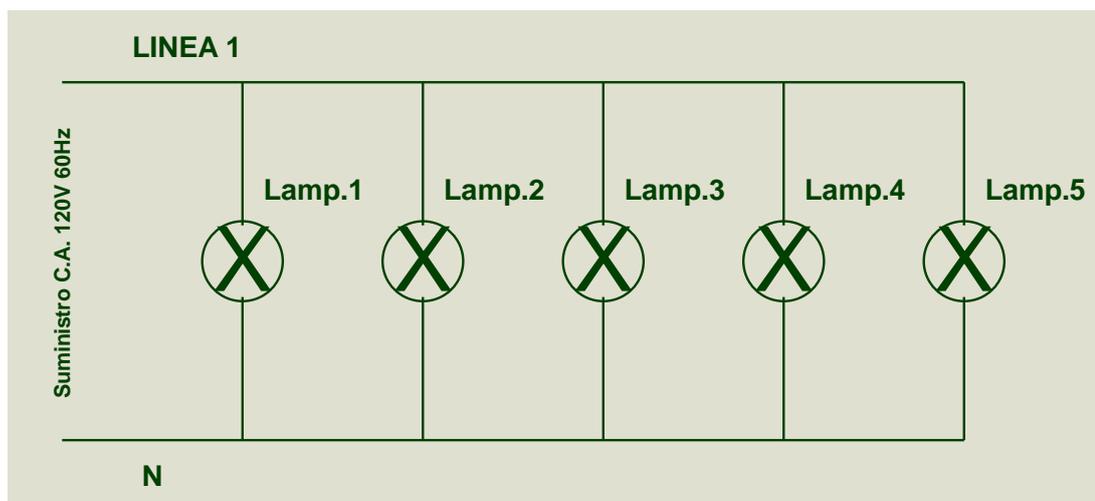
**Figura 1.5: Registrador de Calidad de Potencia Trifásico FLUKE-1744 (imagen tomada de la web del fabricante**

**[http://www.myflukestore.com/p3693/fluke\\_1744.php](http://www.myflukestore.com/p3693/fluke_1744.php))**



**Figura 1.6: Analizador de Calidad de Potencia Trifásico AEMC 8335 (imagen tomada de la web del fabricante**

**<http://www.aemc.com/products/html/moreinfo.asp?id=110108&dbname=products>)**



**Figura 1.7: Diagrama esquemático del circuito correspondiente al Tablero de Pruebas para ensayos TEST 1**

Los seis (6) ensayos TEST 1 realizados se resumen en la siguiente tabla:

Tipos de prueba	Grupo FOCOS INCANDESCENTES	Grupo CFLs
Lectura Instantánea mediante equipo PowerPad AEMC 8335	2 ensayos. (TEST 1-G1 y TEST 1 - G5)	2 ensayos. (TEST 1-G1 y TEST 1-G5)
Registro de Datos en intervalo de tiempo continuo (1.080 muestras), mediante equipo FLUKE 1744	1 ensayo (TEST 1-G5) registro > 3 horas	1 ensayo (TEST 1-G5) registro > 3 horas

**Tabla 1: Ensayos que conforman la prueba TEST 1**

### **Criterios Generales para realizar los ensayos TEST 1**

La selección de las cinco (5) CFLs se realizó de forma aleatoria, pertenecientes a un lote provisto por el Programa de Sustitución de Focos Ahorradores del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, almacenados en bodegas a cargo del Comité de Eficiencia Energética (CEFEN).

Se definió la cantidad de cinco (5) lámparas para la prueba, con el criterio de tener bajo estudio un número superior al máximo de focos ahorradores (4 focos) sustituidos en las residencias pertenecientes al grupo objetivo del programa de sustitución del Gobierno Nacional (quintiles 1 y 2 de pobreza), lo que constituye un estimativo del límite superior de los efectos esperados por la aplicación de los dispositivos entregados por el programa.

Adoptando las definiciones de la NTE INEN-IEC 901:2002 “LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS. ESPECIFICACIONES DE RENDIMIENTO”, la prueba se realizó a temperatura ambiente entre 20°C y 27°C y en una atmósfera libre de corrientes de aire [2].

### **Parámetros de Registro de Datos de ensayos TEST 1**

El equipo de medición Power Pad permite lecturas inmediatas con la aplicación de algoritmos de Transformada Rápida de Fourier (FFT por sus siglas en inglés).

El equipo Fluke 1744 está orientado hacia el registro de tendencias, por lo que requiere un número de muestras y un tiempo de registro. En las condiciones del

ensayo, teniendo una carga fija totalmente controlada, el intervalo de muestra en el Registrador FLUKE se estableció en 1 muestra/10 segundos.

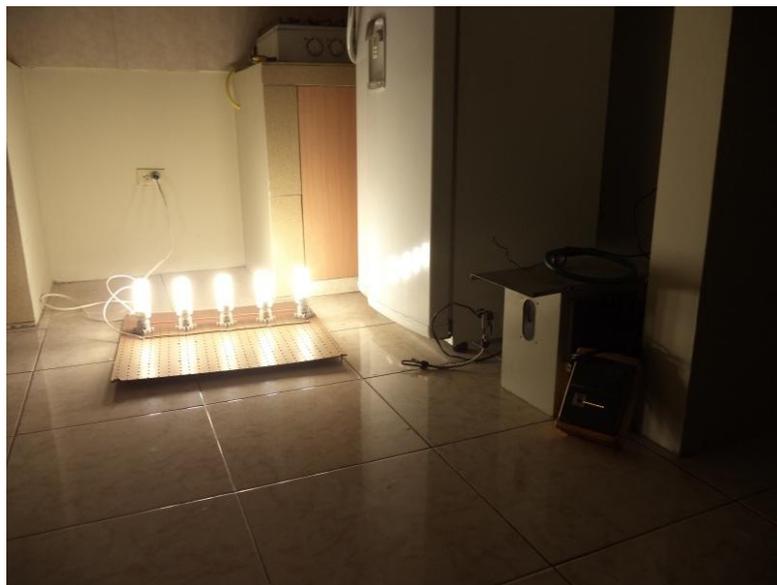
El periodo de registro se determinó en 3 horas. Esto nos permitió planificar la obtención de 1.080 lecturas, que bajo estas condiciones de carga fija constituyen cantidad suficiente de datos para análisis de calidad de potencia, según el criterio establecido de la Regulación No. CONELEC 004/01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución”<sup>4</sup>.

### **Montaje del Equipamiento para ensayos TEST 1**

Las conexiones realizadas para las mediciones, se realizan de acuerdo al procedimiento descrito y siguiendo las configuraciones del Manual de Uso del PQ Logger Fluke 1744 [22] y del Manual de Uso del AEMC 8335 [23], directamente al tablero de pruebas; estos montajes se ilustran en la Figura 1.8. y la Figura 1.9.

---

<sup>4</sup> La regulación CONELEC 004/01 “Calidad de Servicio Eléctrico de Distribución” establece la realización de por lo menos 1.008 lecturas, tomadas cada 10 minutos durante 7 días seguidos; esta condición supone cargas que presentan comportamiento estocástico. En nuestro estudio, bajo condiciones de carga fija, las condiciones son suficientes para obtener datos confiables.



**Figura 1.8: Montaje del Banco de Pruebas para TEST 1- G5 con PQ Logger  
FLUKE 1744**



**Figura 1.9: Montaje del Banco de Pruebas para TEST 1-G5 con Power Pad  
AEMC 8335**

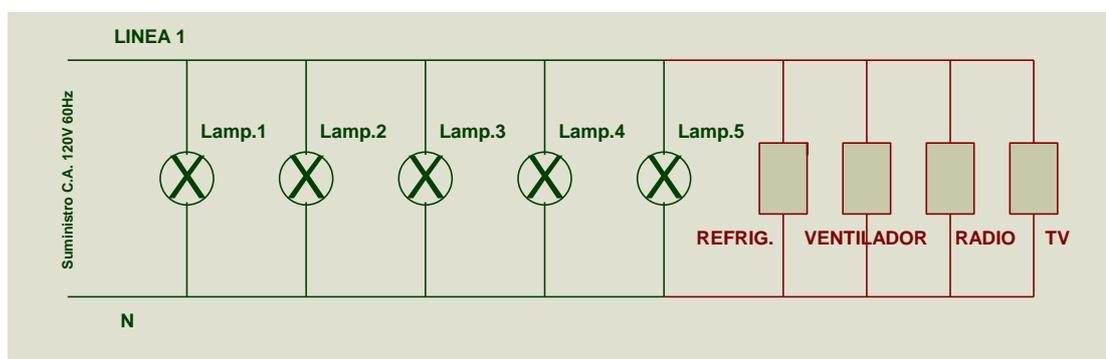
En todos los montajes, el tablero se energiza a un enchufe de pared standard para residencias de 120 V (Tipo B, NEMA 5); cabe indicar que el circuito

derivado correspondiente no tiene ningún otro artefacto conectado en otros tomacorrientes del mismo circuito; y además en el local los demás circuitos derivados han sido desconectados mediante sus respectivos interruptores de protección (breakers) con el objetivo de mantener las condiciones de aislamiento de efectos en las pruebas.

### 1.3. Mediciones TEST 2 en Tablero de Pruebas

Para los ensayos denominados TEST 2 en Tablero de Pruebas se utilizaron los mismos criterios, variables de análisis y equipos de medición que para el TEST 1; la diferencia fundamental está en la configuración del Tablero de Pruebas, al que se incorporó otras cargas eléctricas, no de iluminación, correspondientes a equipos monofásicos de uso típico en los hogares ecuatorianos como se observa en la Figura 1.10.

El objetivo de esta configuración es simular las condiciones de uso del servicio eléctrico de una vivienda, mediante una carga fija y medir los efectos derivados del uso de las CFLs, en comparación con las luminarias incandescentes.



**Figura 1.10: Diagrama Esquemático del Circuito correspondiente al Tablero de Pruebas TEST 2**

En todos los ensayos TEST 2 estuvieron en operación todas las cinco luminarias de cada tipo de tecnología (incandescentes o CFLs), además de las cargas domésticas típicas (refrigeradora, ventilador, radio y televisor). Los montajes realizados se ilustran en la Figura 1.11 y Figura 1.12.



**Figura 1.11: Montaje del Banco de Pruebas para TEST 2 con PQ Logger FLUKE**

1744



**Figura 1.12: Montaje del Banco de Pruebas para TEST 2 con Power Pad AEMC**

8335

Los instrumentos de medición están conectados siguiendo las recomendaciones respectivas de los manuales de uso: punta de prueba de voltaje para la línea

monofásica, punta de neutro y sonda amperimétrica para medición de la corriente de fase [22], [23].

Las mediciones realizadas con el Power Pad AEMC 8335, siendo lecturas instantáneas se obtuvieron y registraron durante el ciclo de encendido del compresor de la refrigeradora, así como para el ciclo de apagado del mismo.

#### **1.4. Mediciones TEST 3 en Tablero de Pruebas. Evaluación de Conformidad por Inspección de Atributos.**

Para los ensayos TEST 3 en Banco de Prueba se utilizaron los mismos criterios, variables de análisis y los mismos equipos de medición que para el TEST 1 y TEST 2 en cuanto a la medición de los parámetros eléctricos; pero en este caso el objetivo fue cumplir una Inspección de Atributos por lotes para evaluar la conformidad o inconformidad de un lote específico de CFLs y estimar un valor estimado de inconformidades esperadas, por lo que se registraron los resultados de las mediciones de manera individual para cada una de las CFLs pertenecientes a una muestra de 80 unidades seleccionadas al azar según los criterios establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 2859-1:2009 sobre “Procedimientos de muestreo para Inspección por Atributos” [3], la que está vinculada en el PEC INEN 005 “Evaluación de Conformidad. Lámparas Fluorescentes Compactas” [4] para la inspección de lotes grandes de CFLs; estos criterios fueron aplicables al Programa Nacional de Sustitución de Focos Ahorradores correspondiendo a un volumen de ítems por el orden de 500.000 unidades por cada lote.

De acuerdo a lo establecido en estas normas mencionadas, el Plan de Muestreo se aplicó de acuerdo a los siguientes parámetros:

“a) Nivel de Inspección: S4

b) Plan de Muestreo: Simple para inspección normal,

c) Nivel de calidad aceptable: 2,5” [4]

Para un número de ítems hasta 500 mil unidades, la aplicación de la norma establece la inspección aleatoria de 80 unidades, estableciendo el criterio de conformidad con el hallazgo de hasta 5 unidades no conformes y de rechazo con igual o superior a 6 unidades para la “Inspección Normal”. [3]

Adicionalmente, para el cumplimiento de la norma, se determinó la necesidad de medir el Flujo Luminoso como medida de la Potencia Luminosa total emitida por la fuente de luz, medida en Lúmenes; para así, determinar la Eficacia Energética (Lumen/Watt) de la luminaria bajo prueba; de acuerdo al procedimiento normalizado en la CIE 084:1989 “Medición de Flujo Luminoso” el procedimiento más idóneo y exacto requiere equipamiento especializado, tales como un Goniómetro o una Esfera Integradora de Ulritch [18]; no habiendo sido posible acceder a dicho equipamiento especializado, se obtuvo una solución mediante un procedimiento alternativo establecido en la misma norma CIE 084:1989 que establece la “Determinación de Flujo Luminoso por medio de la Iluminancia, la Intensidad Luminosa o la Luminancia”, cuyo principio es la proporcionalidad entre el Flujo Luminoso y la Iluminancia para mediciones a

distancia y dirección definida entre un elemento de área y cualquier fuente de luz, siempre que la posición y tipo de fuente de luz permanezcan constantes.

Este principio, nos permitió utilizar el medidor de Iluminancia disponible; el instrumento fue un luxómetro marca TENMARS modelo TM-204 mostrado en la Figura 1.13. Este instrumento permitió la medición del parámetro físico de Iluminancia, medido en Lúmenes/m<sup>2</sup>.



**Figura 1.13: Luxómetro marca TENMARS Modelo TM-204**

En este caso, el modelo se expresa mediante la relación:

$$\Phi = C_e E \quad (1.4)$$

Donde  $\Phi$  = Flujo Luminoso (Lúmenes)

$E$  = Iluminancia (Lúmenes/m<sup>2</sup>)

$C_e$  = constante de proporcionalidad (área efectiva de iluminación).

Para la obtención de  $C_e$  se utilizó un foco incandescente como fuente de luz patrón, es decir, considerándola como referencia normalizada de uso común; manteniendo las demás condiciones de distancia y posición del fotómetro a la fuente luminosa como valores fijos.

Las mediciones con el luxómetro se tomaron con la fuente de luz apantallada y en condiciones de oscuridad, con la finalidad de evitar la incidencia de luz parásita; el instrumento de prueba consistió en una lámpara vertical, de unos 55 cm de altura, lo que se ilustra en la Figura 1.14 y en la Figura 1.15.



**Figura 1.14: Configuración para medición de Luminaria Patrón con Luxómetro**



**Figura 1.15: Configuración para medición de Luminaria Bajo Prueba con Luxómetro**

En esta fase del estudio, las mediciones realizadas en resumen fueron:  
a.Potencia Eléctrica consumida, b.Factor de Potencia, c.Flujo Luminoso,  
d.Eficacia Energética, e.Distorsión armónica total de Tensión (THDv),

f. Distorsión armónica total de Corriente (THDi) y g. Requisitos Generales de las Lámparas Fluorescentes Compactas; este último ítem mencionado consistió en la inspección visual general del estado de las lámparas y su etiquetado y nos referiremos brevemente a ello en el siguiente apartado.

#### **1.5. TEST 4 - Verificación en Campo de Requisitos Generales para las CFLs.**

Las operaciones logísticas de sustitución en campo de Focos Ahorradores fueron ejecutadas con la participación de personal de Brigadistas y Supervisores, a quienes, como parte de sus procedimientos de trabajo se les estableció el llenado de un registro e informe de la inspección visual de cada ítem entregado; por lo cual se generó un reporte de novedades en caso de existir; este procedimiento era sometido a una fiscalización interna mediante visitas no programadas al campo, además de la verificación de subproductos físicos, tales como desechos, focos rotos, etc.

Si bien el contenido de esta prueba, no corresponde al campo de la ingeniería eléctrica, lo mencionamos en este informe, por ser parte de la normatividad INEN de evaluación de la conformidad de las CFLs.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. RESULTADOS OBTENIDOS**

A continuación presentamos los principales resultados obtenidos de las mediciones con los instrumentos en los Tableros de Prueba; en este informe por razones de espacio nos remitiremos a los resultados de TEST 2 y TEST 3 que contribuyen directamente a las conclusiones. Los resultados de TEST 1 y TEST 4, forman parte de los Anexos. Las figuras incorporadas son capturas obtenidas directamente de los equipos; en cada caso se han rotulado adecuadamente para su identificación.

#### **2.1 RESULTADOS DEL TEST 2 – BANCO DE PRUEBAS LUMINARIAS CON SIMULACIÓN DE CARGA DOMÉSTICA**

Debido a que el Power Pad AEMC 8335 mide valores instantáneos vamos a presentar mediciones tomadas con el compresor de la Refrigeradora en ON y

en OFF. El equipo de refrigeración en estudio es una típica nevera doméstica de 200 W de potencia y sistema de encendido impulsivo (no inverter).

También presentaremos Curvas de Tendencia registradas con el FLUKE 1744.

## MEDICIONES DE FORMA DE ONDA

La figura 2.1 permite observar de forma comparada el funcionamiento de los cinco focos incandescentes versus los cinco CFLs, para ambos ciclos de operación del compresor de la refrigeradora ON y OFF.

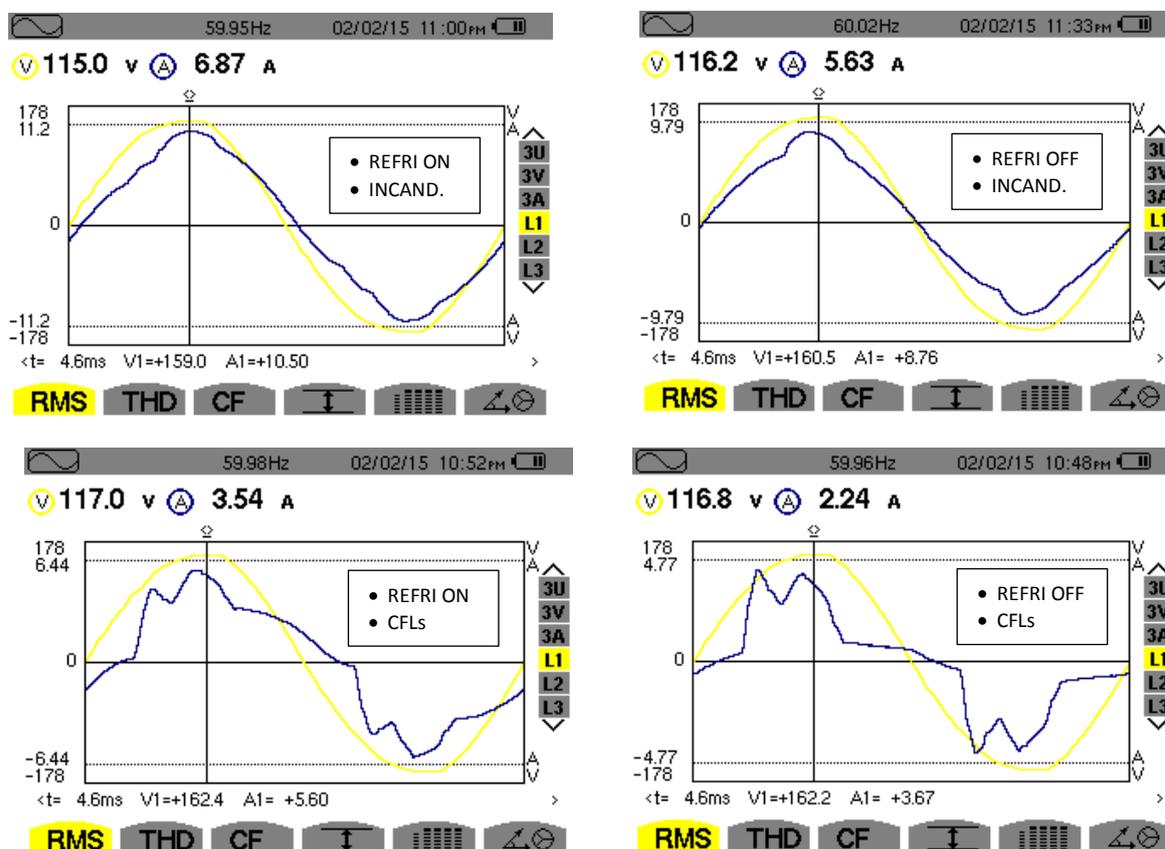


Figura 2.1: Formas de Onda de Voltaje y Corriente RMS – TEST 2

Las dos imágenes de la parte superior muestran las mediciones del Tablero de Prueba con los focos incandescentes en operación; las dos imágenes de la parte inferior muestran las mediciones del Tablero de Prueba con los CFLs en operación.

De igual manera, podemos referenciar que las dos imágenes de la izquierda corresponden al ciclo de operación de la nevera en ON, mientras que las dos imágenes de la derecha corresponden al ciclo de operación de la nevera en OFF, en ambas tecnologías de iluminación.

Se puede observar que en todos los casos las Formas de Onda de Voltaje y Corriente totales en la simulación de una residencia doméstica típica, están desfasadas; encontrándose la fase de la Corriente retrasada con relación a la fase del Voltaje, hecho característico de las cargas de tipo inductivas. Excepto en el caso en el que operan los focos ahorradores y el compresor de la nevera se encuentra en OFF, que registra un leve adelanto de la fase de la Corriente con relación a la fase del Voltaje, característica de una carga capacitiva.

Se determina que el retraso de la fase de la Corriente es mayor cuando el compresor de la nevera se enciende, lo cual es consistente con un incremento de carga inductiva en el hogar.

Se observa que con el uso de los focos incandescentes ya existe una leve distorsión de la forma de onda sinusoidal de la Corriente total; pero es evidente que la operación de los focos CFLs distorsiona totalmente la forma de onda sinusoidal de la Corriente total, perfilándose la forma de onda pulsante que se

preveía mediante el análisis del diagrama de bloques del balasto electrónico que forma parte de los CFLs.

También se determina que con el uso de los focos CFLs la Corriente RMS se reduce significativamente entre un 40% y un 50%, aproximadamente, con respecto al uso de los focos incandescentes.

En la figura 2.2 se reportan las mediciones de los ángulos de desfase entre Voltaje y Corriente totales, para los distintos casos de operación.

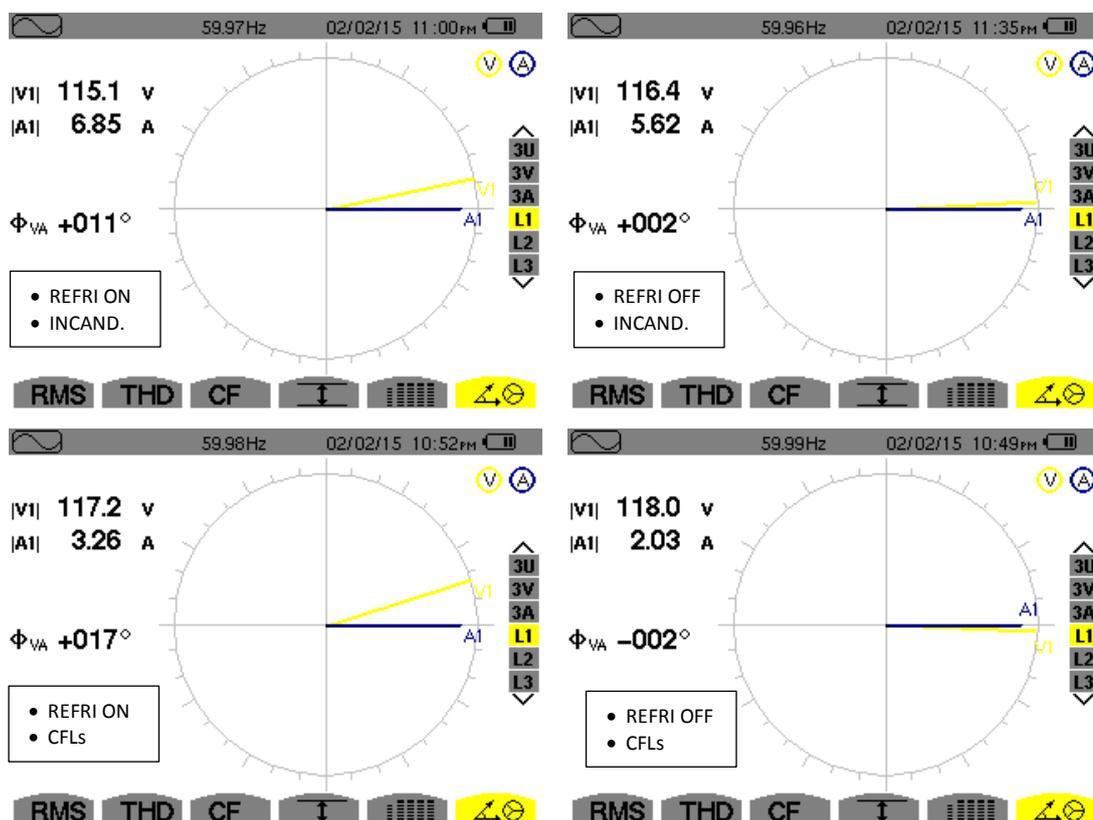
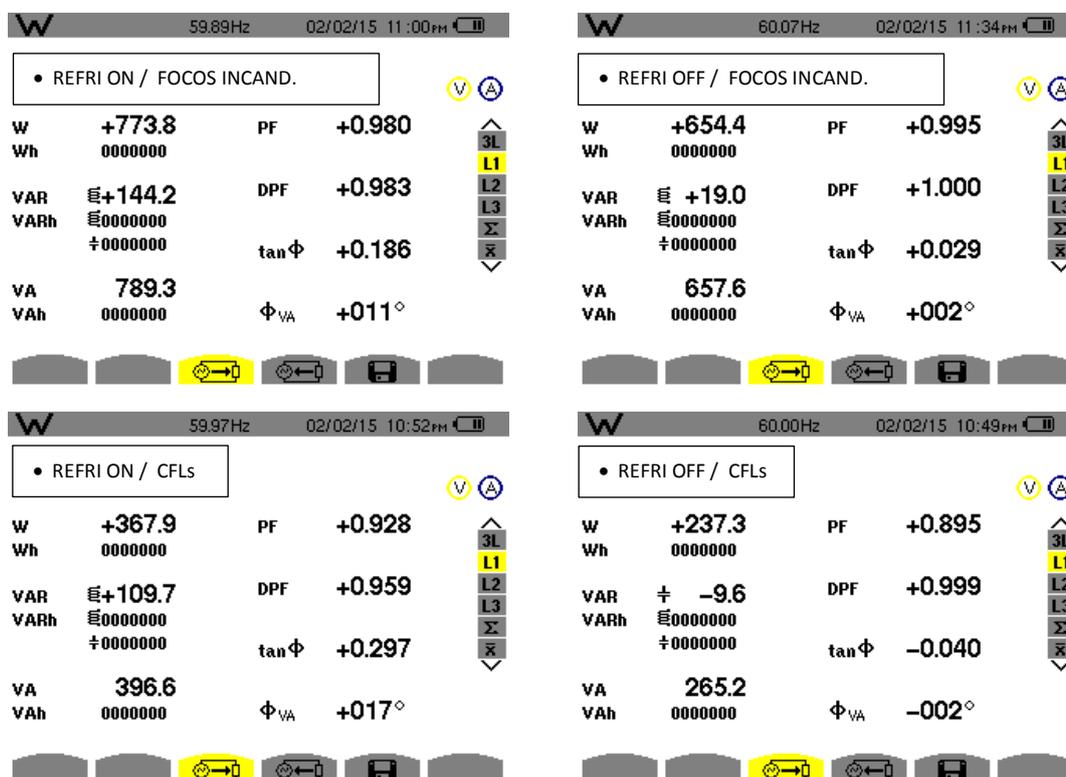


Figura 2.2: Diagrama Fasorial – TEST 2

En estas imágenes se observa que cuando el compresor de la nevera está en su ciclo OFF, la corriente se retrasa en 2° con los focos incandescentes y la corriente adelanta al voltaje en 2° con los focos CFLs.

## MEDICIONES DE POTENCIA ELÉCTRICA Y FACTOR DE POTENCIA

En la figura 2.3, a continuación, se determinaron las mediciones de Potencia Activa, Reactiva y Aparente; además el Factor de Potencia y el registro del ángulo de fase entre Voltaje y Corriente, para cada condición de prueba.



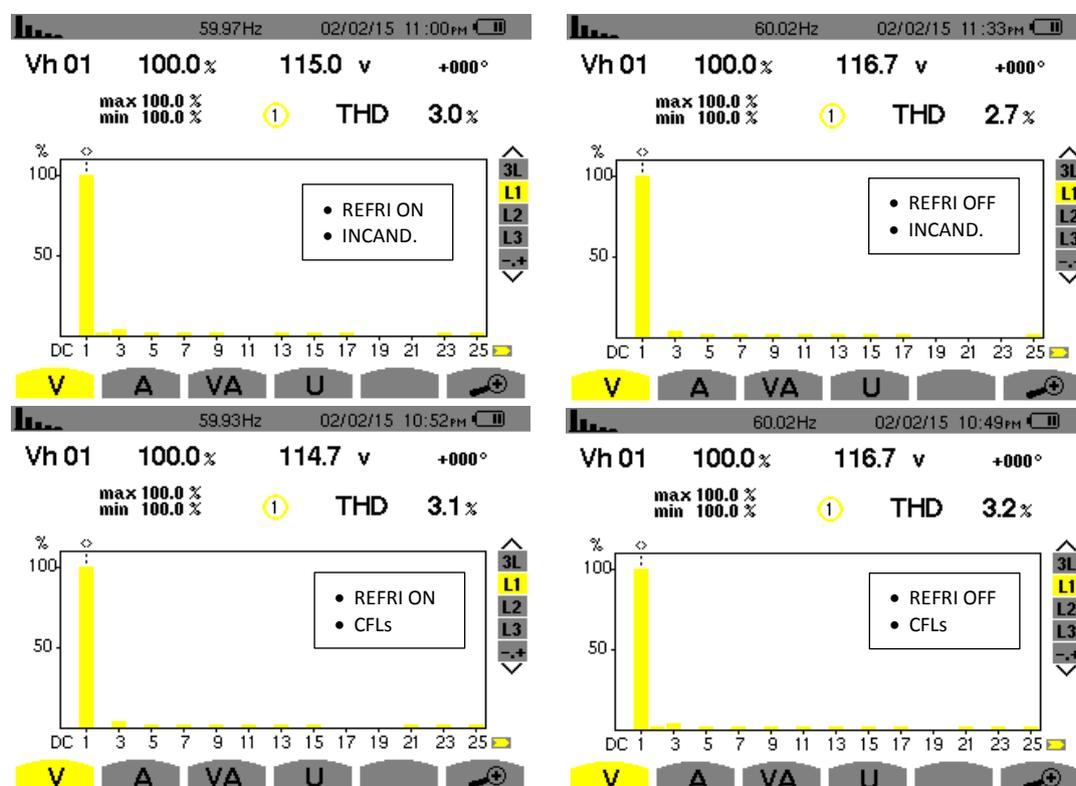
**Figura 2.3: Medición de Potencia Activa, Reactiva, Aparente, Factor de Potencia – TEST 2**

Se logra determinar con el uso de los focos CFLs y manteniendo el resto de la carga doméstica exactamente igual, se reduce la Potencia Activa entre 405,9 W

y 417,1 W; esta reducción representa una reducción promedio de 82,3 W por cada foco CFL en operación. Este valor está conforme con el valor esperado que está indicado en el etiquetado de los productos.

## MEDICIONES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA

En la figura 2.4. se determinaron las mediciones de Distorsión Armónica de Voltaje para cada condición de prueba.

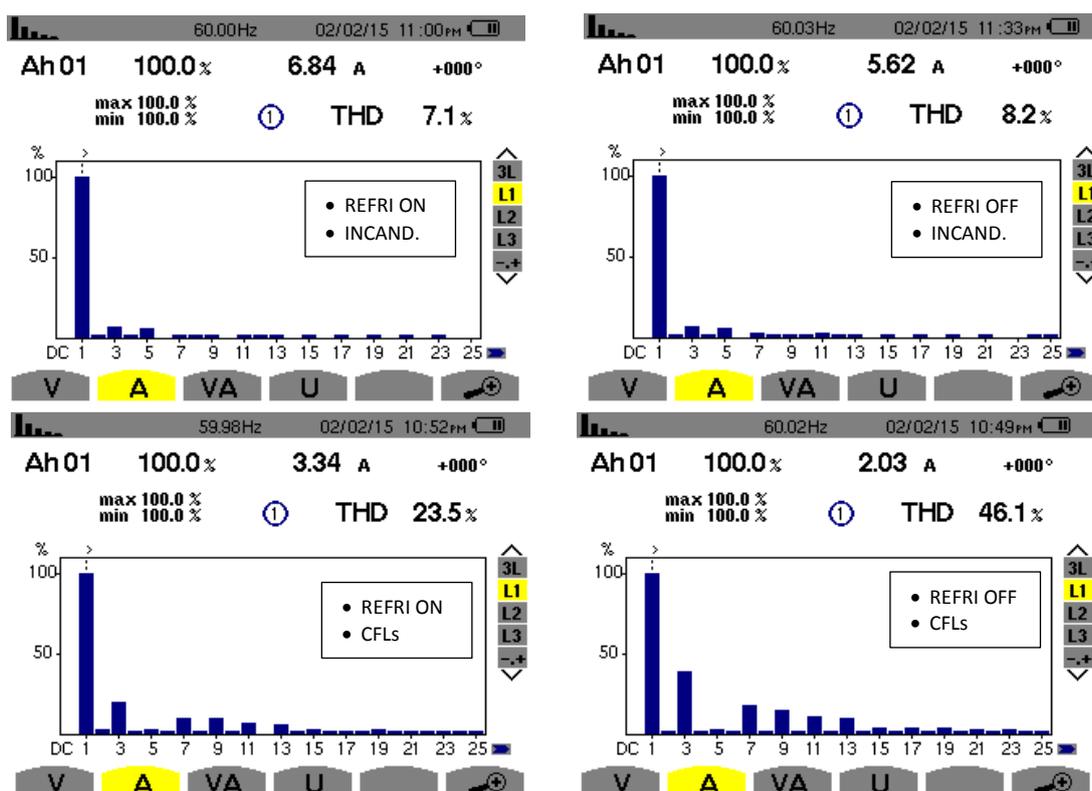


**Figura 2.4: Espectro de Armónicas de Voltaje y THDv – TEST 2**

En cuanto a la distorsión armónica del Voltaje, el THDv en todos los casos es inferior al 5%, determinándose que la sustitución de los focos incandescentes por CFLs, manteniendo el resto de la carga eléctrica domiciliaria en iguales condiciones, no introduce significativamente distorsión armónica en el Voltaje y

se mantiene dentro del rango aceptado por la normativa más exigente al respecto (IEEE Std 1159-2009) [20]

En la figura 2.5. se determinaron las mediciones de Distorsión Armónica de Corriente para cada condición de prueba.



**Figura 2.5: Espectro de Armónicas de Corriente y THDi – TEST 2**

En cuanto a las corrientes armónicas, el análisis teórico nos indica que el principal riesgo es la existencia de una sobrecarga por la existencia de estas corrientes armónicas. Se evidencia, en los resultados de las pruebas TEST 1, que el uso de las CFLs junto a otras cargas típicas domésticas disminuye el THDi con relación a la red que únicamente constaba de luminarias, sin otras cargas típicas residenciales; esto se puede explicar porque la corriente de

consumo de luminarias fluorescentes compactas comparada con las corrientes de las otras cargas es relativamente pequeña y su impacto armónico total en la red se ve absorbido por el tamaño de las demás cargas.

Por otra parte, queda evidenciado que en la residencia ya pre-existían corrientes armónicas producidas por circuitos de conmutación (como el compresor de las refrigeradoras antiguas, notablemente con forma cuadrada) o el uso de otros dispositivos electrónicos. Aún cuando los focos incandescentes son muy lineales y prácticamente no aportan ningún componente armónico, en la red doméstica se obtienen lecturas min y máx de 7,1% y 8,2% de THDi para los ciclos de encendido y apagado del compresor del refrigerador, respectivamente. Cuando se utilizan los focos CFLs, el porcentaje evidentemente es mayor, registrando THDi 23,5% y 46,1% de la componente fundamental para los ciclos de encendido y apagado respectivamente.

Pero para evaluar la magnitud de este fenómeno debemos tomar en consideración que con el uso de los focos ahorradores, la corriente es menor que con el uso de los focos incandescentes; por lo que se debe evaluar el porcentaje de distorsión con los valores totales de corriente para determinar la magnitud del impacto real y evaluar si hay realmente un problema. Una THDi (CFLs)= 46,1% sobre una corriente fundamental de 2,03 A, equivale a 930mA. Una THDi (Incandescentes)=8,2% sobre una corriente fundamental de 5,62 A equivale a 460mA. Es decir, la sustitución de CFLs introdujo un diferencial máximo de 470 mA por distorsión armónica. En ninguno de los casos esto representa un problema significativo en términos de pérdidas o riesgo de

sobrecalentamiento de líneas, tomando en cuenta que el uso de CFLs disminuyó 3,6 A de consumo y que por otra parte, las instalaciones se diseñan para capacidades muy superiores (50A en demanda residencial total por ejemplo).

Estos valores hallados además cumplen de forma consistente con la norma IEEE Std 1159 [20] en la que se indica que la THDi promedio máxima para una CFL es 120% [25][26].

En la figura 2.6 se muestran las mediciones obtenidas con el Registrador de Calidad de Potencia (Power Quality Logger) – FLUKE 1744, para la operación en Tablero de Pruebas únicamente con focos incandescentes. Con el registrador de potencia podemos analizar la tendencia del sistema en un periodo superior a 3 horas continuas, que aseguró más de 1080 muestras.

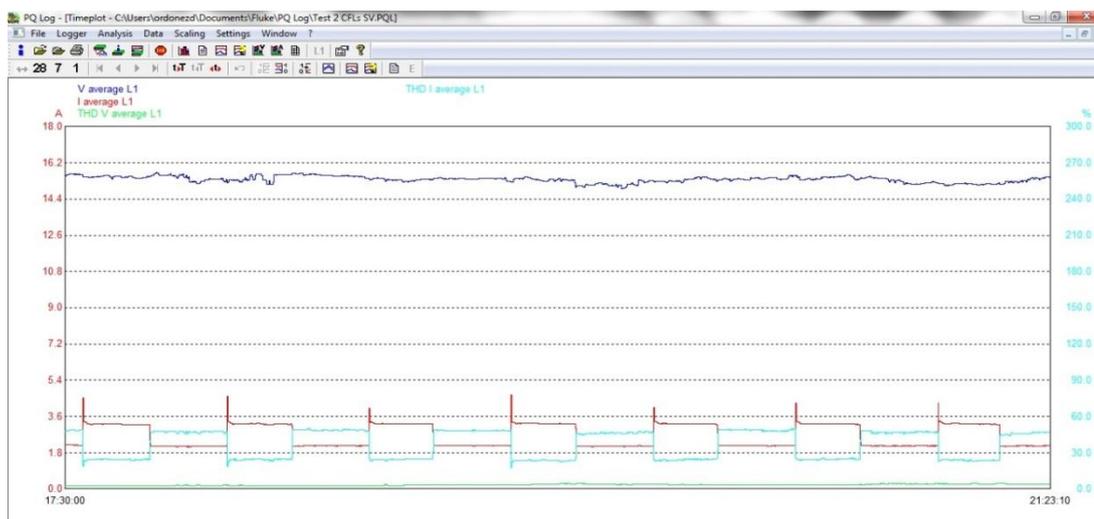


**Figura 2.6: TENDENCIA DE Vrms, Irms, THDv, THDi – TEST 2 con Focos Incandescentes durante más de 3 horas**

Se determina las curvas de tendencia de Voltaje estable en las proximidades de los 120 V, con un ligero incremento a medida que avanzan las horas en la tarde (17h20); esto podría explicarse por la incorporación de diferentes cargas, principalmente de iluminación de forma masiva que incrementan levemente (<5%) la componente fundamental de voltaje.

La curva de tendencia de corriente permite observar con claridad el ciclo de conmutación del compresor de la refrigeradora (ON-OFF), que resulta en una forma de onda muy próxima a una onda cuadrada con sobrepicos en el transiente de encendido. Los factores de Distorsión Total de Voltaje y Corriente son muy bajos:  $THD_v < 3\%$  y  $THD_i < 8\%$ .

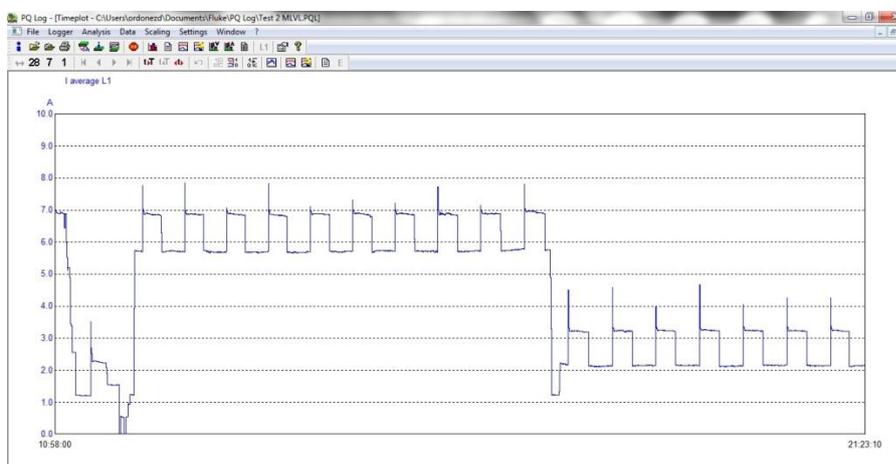
En la figura 2.7 se muestran las mediciones obtenidas con el Registrador de Calidad de Potencia (Power Quality Logger) – FLUKE 1744, para la operación en Tablero de Pruebas únicamente con CFL (focos ahorradores).



**Figura 2.7: TENDENCIA DE  $V_{rms}$ ,  $I_{rms}$ ,  $THD_v$ ,  $THD_i$  – TEST 2 con CFLs, durante más de 3 horas**

La curva registra Voltaje, Corriente y Distorsión Armónica Total. En este registro de tendencia en el tiempo, existe una evidente disminución de la corriente promedio y un evidente incremento en la Distorsión Armónica Total de Corriente; ambos parámetros se observan además correlacionados con el ciclo de conmutación del compresor de la refrigeradora, resultando en una forma de onda muy similar a una onda cuadrada, con la consecuente introducción de armónicas impares.

Finalmente en la figura 2.8 incluimos los resultados de un ensayo adicional, en el que se ha trazado la tendencia de la  $I_{rms}$  promedio durante 11 horas de registro de datos, antes y después de realizar un cambio de focos CFLs en sustitución de focos incandescentes.



**Figura 2.8:  $I_{rms}$  durante 11 horas – Con sustitución de Focos Incandescentes por Focos CFLs**

Esta figura ilustra el principal problema que se resolvió con la sustitución de focos incandescentes por focos CFLs: el incremento de la eficiencia en el

consumo eléctrico residencial, de una forma significativa; se observa con claridad la magnitud de la disminución del rango de corriente, con el uso de focos incandescentes (izquierda) y luego del cambio a focos ahorradores (derecha).

## 2.2 TEST 3 – INSPECCIÓN DE ATRIBUTOS / 80 MUESTRAS

La siguiente tabla muestra los resultados individuales de los 80 ítems (focos CFLs) sometidos a medición de parámetros eléctricos y de luminosidad para evaluar su conformidad con el Límite Aceptable de Calidad (AQL por sus siglas en inglés). Como establece la norma los límites de verificación fueron:

Factor de Potencia: Mínimo  $0,5 \pm 0,05$

Eficiencia Energética: Mínimo 52 Lúmenes/Watt

Variación de Potencia sobre Declarada en Etiqueta: Máximo 15%

Variación THDv  $\leq 5\%$  ; Variación THDi  $\leq 120\%$

La norma NTE-ISO 2859-1:2009 [3] establece que menor o igual a 5 unidades inconformes el lote se acepta; igual o superior a 6 unidades el lote se debe rechazar. En la Tabla 2 se muestran los resultados de las mediciones para los 80 ítems; en color lila se resalta los 2 ítems inconformes hallados en esta verificación de atributos. Estas 2 unidades inconformes se hallan exclusivamente en el parámetro de eficiencia energética al determinarse Eficiencia Energética  $< 52$  Lúmenes/Watt (51 y 49 específicamente).

Item	P (W)	Q (VAR)	S (VA)	F.P.	THDv (%)	THDi (%)	E (lux)	Φ n/En (lumen/lux)	Φ (lumen)	ΔPOTENCIA DECLARADA	Eficiencia Energética (lumen/Watt)	RESULTADO POR INSPECCIÓN DE ATRIBUTOS VERIFICADOS: EL LOTE ES ACEPTADO (CONFORME CRITERIOS RTE INEN 036 Y NTE INEN-ISO 2859-1:2009)			
												E. Energ > 52 lumen/watt (SI/NO)	ΔP < 15% (SI/NO)	F.P. > 0,60 (SI/NO)	THDI < 120% (SI/NO)
1	19,96	-9,58	31,62	0,66	2,50	92,70	389	2,7443	1.067,53	-0,20%	53	SI	SI	SI	SI
2	20,28	-9,74	31,98	0,66	2,50	91,60	400	2,7443	1.097,71	1,40%	54	SI	SI	SI	SI
3	20,01	-9,78	31,13	0,66	2,50	91,90	380	2,7443	1.042,83	0,07%	52	SI	SI	SI	SI
4	21,54	-10,45	33,82	0,66	2,60	90,70	410	2,7443	1.125,16	7,70%	52	SI	SI	SI	SI
5	20,92	-10,26	32,93	0,66	2,60	91,70	416	2,7443	1.141,62	4,60%	55	SI	SI	SI	SI
6	20,25	-9,43	30,39	0,66	2,60	91,30	392	2,7443	1.075,76	1,25%	53	SI	SI	SI	SI
7	19,14	-9,68	32,2	0,66	2,50	91,90	388	2,7443	1.064,78	-4,30%	56	SI	SI	SI	SI
8	21,10	-10,40	32,97	0,66	2,50	90,10	393	2,7443	1.078,50	5,50%	51	NO	SI	SI	SI
9	20,58	-9,40	32,11	0,66	2,50	95,60	412	2,7443	1.130,64	2,90%	55	SI	SI	SI	SI
10	19,88	-9,44	31,9	0,66	2,50	93,30	395	2,7443	1.083,99	-0,60%	55	SI	SI	SI	SI
11	20,22	-9,67	32,03	0,66	2,50	92,30	419	2,7443	1.149,85	1,10%	57	SI	SI	SI	SI
12	20,28	-9,51	32,23	0,66	2,50	93,60	392	2,7443	1.075,76	1,40%	53	SI	SI	SI	SI
13	19,75	-8,86	30,23	0,66	2,70	95,20	410	2,7443	1.125,16	-1,25%	57	SI	SI	SI	SI
14	20,27	-9,85	31,28	0,67	2,50	88,60	428	2,7443	1.174,55	1,35%	58	SI	SI	SI	SI
15	20,37	-9,67	32,14	0,65	2,50	93,70	420	2,7443	1.152,60	1,85%	57	SI	SI	SI	SI
16	20,15	-9,74	31,9	0,66	2,50	90,60	394	2,7443	1.081,25	0,75%	54	SI	SI	SI	SI
17	21,71	-10,42	33,16	0,65	2,50	92,80	408	2,7443	1.119,67	8,55%	52	SI	SI	SI	SI
18	20,16	-9,73	32,3	0,65	2,50	92,50	400	2,7443	1.097,71	0,80%	54	SI	SI	SI	SI
19	20,88	-10,25	32,98	0,65	2,40	91,40	407	2,7443	1.116,92	4,40%	53	SI	SI	SI	SI
20	20,24	-9,65	32,25	0,66	2,50	91,40	394	2,7443	1.081,25	1,20%	53	SI	SI	SI	SI
21	20,47	-9,64	32,35	0,66	2,50	92,40	435	2,7443	1.193,76	2,35%	58	SI	SI	SI	SI
22	20,52	-9,83	32,11	0,66	2,50	91,20	401	2,7443	1.100,46	2,60%	54	SI	SI	SI	SI
23	20,62	-9,56	32,47	0,65	2,60	94,90	393	2,7443	1.078,50	3,10%	52	SI	SI	SI	SI
24	20,14	-10,06	32,38	0,66	2,50	91,90	405	2,7443	1.111,43	0,70%	55	SI	SI	SI	SI
25	20,09	-10,20	33,4	0,66	2,50	92,30	407	2,7443	1.116,92	0,45%	56	SI	SI	SI	SI
26	20,03	-9,39	32,16	0,66	2,50	94,00	391	2,7443	1.073,01	0,15%	54	SI	SI	SI	SI
27	20,46	-9,86	32,73	0,66	2,50	91,60	397	2,7443	1.089,48	2,30%	53	SI	SI	SI	SI
28	20,67	-9,68	32,68	0,66	2,50	91,70	408	2,7443	1.119,67	3,35%	54	SI	SI	SI	SI
29	20,61	-9,12	32,59	0,66	2,50	90,60	415	2,7443	1.138,88	3,05%	55	SI	SI	SI	SI
30	20,27	-9,75	31,91	0,66	2,50	89,00	391	2,7443	1.073,01	1,35%	53	SI	SI	SI	SI
31	20,72	-9,89	32,95	0,66	2,60	91,40	417	2,7443	1.144,37	3,60%	55	SI	SI	SI	SI
32	20,38	-9,39	32,52	0,65	2,60	94,10	430	2,7443	1.180,04	1,90%	58	SI	SI	SI	SI
33	19,93	-9,42	32,31	0,66	2,50	92,40	392	2,7443	1.075,76	-0,35%	54	SI	SI	SI	SI
34	21,35	-10,58	32,53	0,66	2,50	90,30	402	2,7443	1.103,20	6,75%	52	SI	SI	SI	SI
35	21,23	-9,55	32,56	0,66	2,60	91,70	427	2,7443	1.171,81	6,15%	55	SI	SI	SI	SI
36	20,11	-9,53	31,12	0,66	2,50	90,70	417	2,7443	1.144,37	0,55%	57	SI	SI	SI	SI
37	20,12	-9,82	31,08	0,66	2,40	89,60	423	2,7443	1.160,83	0,60%	58	SI	SI	SI	SI
38	20,43	-9,96	32,92	0,66	2,50	91,40	388	2,7443	1.064,78	2,15%	52	SI	SI	SI	SI
39	20,70	-10,23	32,8	0,66	2,50	90,80	391	2,7443	1.073,01	3,50%	52	SI	SI	SI	SI
40	20,60	-9,63	32,44	0,66	2,50	91,40	388	2,7443	1.064,78	3,00%	52	SI	SI	SI	SI
41	20,15	-9,18	31,57	0,65	2,50	97,00	396	2,7443	1.086,74	0,75%	54	SI	SI	SI	SI
42	20,38	-9,86	32,76	0,67	2,50	90,30	401	2,7443	1.100,46	1,90%	54	SI	SI	SI	SI
43	19,83	-9,46	31,22	0,66	2,50	89,50	419	2,7443	1.149,85	-0,85%	58	SI	SI	SI	SI
44	20,15	-9,26	31,36	0,66	2,50	91,90	415	2,7443	1.138,88	0,75%	57	SI	SI	SI	SI
45	19,91	-9,70	31,56	0,66	2,40	89,80	427	2,7443	1.171,81	-0,45%	59	SI	SI	SI	SI
46	20,12	-9,23	30,07	0,66	2,60	92,80	390	2,7443	1.070,27	0,60%	53	SI	SI	SI	SI
47	20,30	-9,27	31,87	0,66	2,60	93,00	422	2,7443	1.158,09	1,50%	57	SI	SI	SI	SI
48	20,99	-9,89	32,34	0,66	2,50	91,80	397	2,7443	1.089,48	4,95%	52	SI	SI	SI	SI
49	20,16	-9,12	31,28	0,66	2,60	93,30	394	2,7443	1.081,25	0,80%	54	SI	SI	SI	SI
50	20,30	-9,28	31,24	0,66	2,60	92,70	390	2,7443	1.070,27	1,50%	53	SI	SI	SI	SI
51	20,48	-9,22	31,65	0,66	2,50	93,00	407	2,7443	1.116,92	2,40%	55	SI	SI	SI	SI
52	20,79	-9,75	32,42	0,66	2,50	92,20	392	2,7443	1.075,76	3,95%	52	SI	SI	SI	SI
53	20,22	-9,38	31,78	0,66	2,50	92,90	422	2,7443	1.158,09	1,10%	57	SI	SI	SI	SI
54	20,37	-9,44	31,96	0,66	2,60	91,60	424	2,7443	1.163,58	1,85%	57	SI	SI	SI	SI
55	21,42	-10,80	33,44	0,66	2,60	92,10	419	2,7443	1.149,85	7,10%	54	SI	SI	SI	SI
56	20,92	-9,69	32,04	0,66	2,60	92,20	395	2,7443	1.083,99	4,60%	52	SI	SI	SI	SI
57	21,54	-10,12	33,48	0,66	2,60	91,30	412	2,7443	1.130,64	7,70%	52	SI	SI	SI	SI
58	20,39	-9,47	31,85	0,66	2,60	92,40	409	2,7443	1.122,41	1,95%	55	SI	SI	SI	SI
59	21,17	-9,68	32,66	0,66	2,60	92,10	408	2,7443	1.119,67	5,85%	53	SI	SI	SI	SI
60	20,21	-9,13	31,08	0,66	2,60	93,80	388	2,7443	1.064,78	1,05%	53	SI	SI	SI	SI
61	20,62	-9,66	32,4	0,66	2,60	90,70	400	2,7443	1.097,71	3,10%	53	SI	SI	SI	SI
62	21,56	-9,94	33,39	0,66	2,60	92,70	385	2,7443	1.056,55	7,80%	49	NO	SI	SI	SI
63	20,28	-9,37	31,19	0,66	2,60	92,80	390	2,7443	1.070,27	1,40%	53	SI	SI	SI	SI
64	20,75	-9,79	32,78	0,66	2,60	92,40	414	2,7443	1.136,13	3,75%	55	SI	SI	SI	SI
65	20,73	-9,53	32,12	0,66	2,60	91,50	401	2,7443	1.100,46	3,65%	53	SI	SI	SI	SI
66	21,19	-9,80	33,27	0,66	2,60	93,30	398	2,7443	1.092,22	5,95%	52	SI	SI	SI	SI
67	20,11	-9,80	30,85	0,66	2,50	94,90	388	2,7443	1.064,78	0,55%	53	SI	SI	SI	SI
68	20,23	-9,69	31,58	0,66	2,50	92,60	391	2,7443	1.073,01	1,15%	53	SI	SI	SI	SI
69	20,94	-9,77	32,72	0,66	2,50	92,30	421	2,7443	1.155,34	4,70%	55	SI	SI	SI	SI
70	21,19	-9,84	32,83	0,64	2,60	92,50	405	2,7443	1.111,43	5,95%	52	SI	SI	SI	SI
71	20,45	-9,13	31,66	0,66	2,50	93,40	405	2,7443	1.111,43	2,25%	54	SI	SI	SI	SI
72	20,99	-9,67	33,26	0,66	2,60	93,50	409	2,7443	1.122,41	4,95%	53	SI	SI	SI	SI
73	20,71	-9,60	32,97	0,66	2,60	93,80	390	2,7443	1.070,27	3,55%	52	SI	SI	SI	SI
74	20,75	-9,60	32,36	0,66	2,50	92,60	400	2,7443	1.097,71	3,75%	53	SI	SI	SI	SI
75	20,64	-9,56	32,15	0,66	2,60	92,80	411	2,7443	1.127,90	3,20%	55	SI	SI	SI	SI
76	20,51	-9,79	31,81	0,65	2,50	93,40	398	2,7443	1.092,22	2,55%	53	SI	SI	SI	SI
77	20,63	-9,57	32,31	0,66	2,60	92,90	415	2,7443	1.138,88	3,15%	55	SI	SI	SI	SI
78	21,47	-9,93	33,39	0,66	2,60	93,20	404	2,7443	1.108,69	7,35%	52	SI	SI	SI	SI
79	21,83	-10,24	32,82	0,66	2,70	93,40	410	2,7443	1.125,16	9,15%	52	SI	SI	SI	SI
80	20,67	-9,59	32,61	0,66	2,60	92,20	395	2,7443	1.083,99	3,35%	52	SI	SI	SI	SI

**Tabla 2: Resultados de TEST 3, Inspección de Atributos de 80 u. del lote de 500 mil unidades**

Al haber encontrado “Número Unidades Inconformes” =  $2 < 5$ , el resultado de este TEST 3 es ACEPTAR EL LOTE de 500 mil unidades. Esta prueba se repitió en cada ingreso de lote nuevo a bodega.

Como se indicó en el capítulo 1, los parámetros medidos y registrados siguiendo las normas INEN PEC 005 [4] y NTE-ISO 2859-1:2009 [3] para cada uno de los 80 ítems contenidos en la Tabla 2, fueron:

- Potencia Eléctrica (Activa P, Reactiva Q, Aparente S)
- Factor de Potencia (F.P.)
- Distorsión Armónica Total en Tensión (THDv)
- Distorsión Armónica Total en Corriente (THDi)
- Eficiencia Energética (Lumen/Watt)

En la tabla 2 también se registra la medición en unidades de Iluminancia E (en Lux) obtenida con luxómetro; con el procedimiento descrito en la metodología se obtiene la estimación indirecta de lúmenes. La constante de proporcionalidad de la fuente de luz patrón normalizada se encuentra en la columna rotulada  $\Phi/En$  (Flujo Luminoso / Iluminancia normalizada de la fuente de luz patrón).

Con esta constante de proporcionalidad se determina de forma indirecta la medición de Flujo Luminoso mediante la medición directa de E (Iluminancia); y con este Flujo Luminoso hallado y la medición de Potencia Eléctrica Activa se obtiene la Eficiencia Energética.

Fundamentado en estos resultados se estableció un Índice de Novedades de fábrica esperado de 2/80 unidades equivalente al 2,5% criterio que contribuyó a la instrumentación de los procesos logísticos de control del proceso de distribución domiciliaria a los usuarios finales.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Se ha comprobado que el uso de los dispositivos electrónicos en los sistemas de iluminación ha logrado mejoras relevantes en su desempeño, principalmente en cuanto a la reducción en el consumo de energía en un factor de 5 veces menos en promedio.
2. Se ha demostrado que la eficiencia energética de los sistemas de iluminación con dispositivos electrónicos fue incrementada, cumpliendo la norma de calidad que establece una eficiencia de 52 lúmenes/wattio en comparación con la eficiencia del foco incandescente de 12 lúmenes/wattio.
3. El nivel de iluminación se ha mantenido con la sustitución masiva de los focos ahorradores registrando flujos luminosos entre 1040 y 1250 lúmenes.

4. Las pruebas de laboratorio han demostrado que el balasto electrónico utilizado para el arranque y mantenimiento de la luz del foco ahorrador produce señales que contienen componentes armónicos de la onda sinusoidal fundamental (60Hz); este hecho se explica por las funciones de conmutación del inversor convertidor AC/DC utilizado para el funcionamiento del CFL.
5. Los componentes armónicos hallados en las líneas eléctricas de la vivienda, como efectos derivados del uso de CFLs, se encuentran dentro de los rangos de límites máximos establecidos por las normativas consultadas [1],[2],[3],[4],[18],[19],[20],[21], aplicables para la verificación del desempeño y rendimiento de las Lámparas Fluorescentes Compactas.
6. La Distorsión Armónica Total de Voltaje (THDv), generada por el balasto electrónico de los focos ahorradores pertenecientes al Programa Nacional del Ministerio de Electricidad, en todas las pruebas y datos registrados tiene un valor por debajo del 5% que es el límite que determina la norma más estricta para este parámetro; en conclusión no existe evidencia de que esta distorsión en el voltaje represente un problema para el hogar, en términos de seguridad, pérdidas de energía, pérdidas económicas, ni para la vida útil del equipamiento eléctrico residencial.
7. La Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi), generada por el balasto electrónico de los focos ahorradores pertenecientes al Programa Nacional del Ministerio de Electricidad, en las pruebas de simulación con 5 focos CFLs y cargas típicas de una residencia, tiene un valor máximo de 46,1% que se encuentra por debajo del límite máximo de 120% que la norma más

estricta determina para el caso de 1 foco CFL operando sola. La experiencia sugiere que con el incremento de CFLs en uso la THDI decrece.

8. De hecho, la  $\Delta I_{rmsH}$  (diferencial de corriente efectiva originada por las componentes armónicas) añadida, está en el orden de los 470 mA, mientras que la reducción de  $I_{rms}$  en frecuencia fundamental está en el orden de los 3,3 A; resultando en una ventaja en el uso de CFLs en términos de corriente efectiva; en conclusión tampoco existe evidencia de que esta distorsión en la corriente represente un problema para el hogar, en términos de seguridad, pérdidas de energía, pérdidas económicas, ni vida útil del equipamiento eléctrico residencial.
9. Este bajo nivel de Distorsión Armónica de la Corriente en la red con el uso de cinco (5) CFLs de una residencia (46,1% en pruebas < máx.120% de la norma) se puede explicar porque la corriente total que consumen las CFLs, es pequeña comparada con las cargas de otros aparatos de uso doméstico típicos de los hogares; por lo tanto, el efecto en la distorsión total que introducen las CFLs, es minimizado por cargas más grandes preexistentes, tales como la refrigeradora.
10. Estos resultados implican que, aun cuando el uso de los dispositivos de estado sólido en los focos introducen señales armónicas en la línea de potencia, su nivel se encuentra por debajo de los límites normalizados; por lo tanto su utilización es segura, efectiva y eficiente; no existe evidencia de riesgo de aumento de pérdidas en los conductores de la vivienda por efecto Joule; ni de sobrecalentamiento de conductores del neutro de la vivienda; tampoco existe riesgo de sobrecalentamiento, pérdida de vida útil o pérdida

de eficiencia del equipamiento eléctrico, cables, motores (de ventiladores por ejemplo), transformadores, etc. de la vivienda; tampoco existe riesgo de interferencias en sistemas de telecomunicaciones.

11. Las pruebas de Inspección de Atributos, para verificar la conformidad de las Lámparas Fluorescentes Compactas que se entregaron en el Plan Nacional de Sustitución de Focos Ahorradores con los requerimientos establecidos en las correspondientes normas, determinaron la aceptación de los lotes de Focos Ahorradores, con un 97,5% de conformidad. Los resultados posteriores en el campo se verificó un nivel de conformidad incluso superior logrando el 99,64% de unidades conformes. Las unidades inconformes fueron reportadas a la autoridad correspondiente.
12. El estudio ha demostrado que el uso masivo de CFLs en residencias, conllevó beneficios objetivos a usuarios y también a las empresas eléctricas, pues alivió la demanda en momentos que fue muy oportuno, debido al escaso margen en la reserva energética nacional por el lado de la oferta.

### **Recomendaciones**

1. La tecnología de Lámparas Fluorescentes Compactas continúa en vigencia en nuestro medio y ha demostrado su efectividad y eficiencia, con efectos armónicos poco significativos. Hoy por hoy es una tecnología madura que ha impactado en la conciencia de los ciudadanos ecuatorianos. Es recomendable continuar con campañas de promoción del uso de tecnologías eficientes y el Estado juega un rol importante en la

implementación, promoción y en los efectos de demostración de estas nuevas tecnologías.

2. Es interesante mencionar en materia de iluminación la tecnología LED y su introducción progresiva en el mercado ecuatoriano, todavía lenta por los valores económicos que conlleva la adquisición de estas luminarias; sería recomendable evaluar un programa de promoción de esta tecnología por parte del Ministerio de Electricidad.
3. Es recomendable estudiar los efectos armónicos cruzados de los CFLs con otros aparatos de uso doméstico, pues en ciertas condiciones de operación puede diseñarse un efecto de cancelación mutua de armónicos; algunos datos sugieren una inquietud en esa dirección.
4. Es recomendable que las mediciones de flujo luminoso pudieran realizarse con los instrumentos más precisos (goniofotómetro o esfera integradora de Ulritch); esto permitiría contar con una medición directa del Flujo Luminoso y por lo tanto minimizar la posibilidad de error de arrastre proveniente del indicador obtenido en este estudio, realizado por medición indirecta de Iluminancia y posterior cálculo proporcional con una fuente patrón, lo que si bien constituye una solución práctica, no es estrictamente rigurosa.
5. Consideramos interesante la realización de cursos o seminarios sobre tópicos de iluminación, medición de flujo luminoso, determinación de patrón de radiación luminoso, utilización de instrumentos que puedan ser aplicables a la formación de técnicos e ingenieros vinculados a la construcción o al peritaje de normas.

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### TEST 1 – TABLERO DE PRUEBAS OPERANDO SÓLO CON LUMINARIAS

En la figura A.1 se muestran los resultados de los ensayos TEST 1 realizados en el Tablero de Pruebas operando sólo con luminarias, de ambas tecnologías incandescente y CFLs. El Analizador de Calidad de Potencia AEMC 8335 nos permitió tener estas mediciones. Las imágenes muestran capturas directamente del equipo de medición.

Los ensayos TEST 1 se realizaron en dos (2) condiciones diferentes:

1. Con el Tablero de Pruebas operando con una (1) sola luminaria, de cada tecnología respectiva, incandescente y CFL; se denominaron TEST 1- G1.
2. Con el Tablero de Pruebas operando con un grupo de cinco (5) luminarias, de cada tecnología respectivamente; se denominaron TEST 1 – G5.

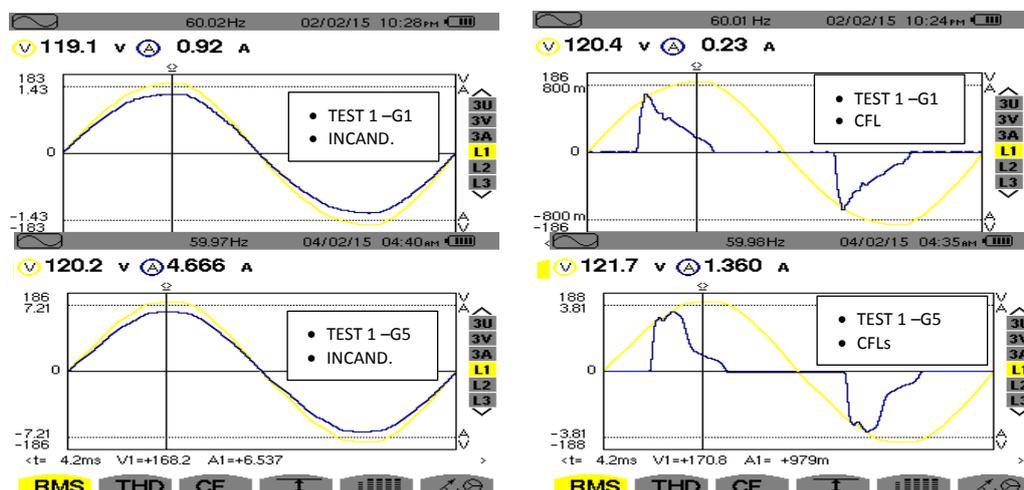


Figura A.1: Medición de Forma de Onda de Voltaje RMS y Corriente RMS -  
TEST 1

Como se observa en la figura A.1. la luminaria incandescente responde como una típica carga resistiva lineal. La distorsión es prácticamente imperceptible en su forma de onda.

Por otra parte, el uso de las CFLs provoca una gran distorsión en la forma de onda de la corriente; la distorsión en la forma de onda del voltaje permanece imperceptible.

Este impacto sobre la forma de onda se ajusta al análisis teórico, pues como se indicó el balasto electrónico al conectarse directamente a la línea de alimentación AC, determina en el puente rectificador del bloque de entrada de la señal de potencia, condiciones de conducción y no conducción por periodos de tiempo, resultando una señal de tipo pulsante. Esta distorsión introduce evidentemente desfases y componentes armónicos en las señales de Voltaje y Corriente.

La figura A.1 permite además observar que con el uso de los focos incandescentes el voltaje y la corriente están en fase. Se puede apreciar una distorsión imperceptible en la forma de onda sinusoidal. La corriente RMS es 0.92 A, por lo que evidentemente su eficiencia energética es baja, considerando que es una sola luminaria en operación.

Se puede observar que con el uso de los focos CFLs hay una evidente reducción de la Corriente RMS total consumida, que se determina en 0.23 A, lo que representa casi 5 veces menos que el consumo con incandescentes; este hallazgo constituye el

principal beneficio resultado del uso de tecnología electrónica para iluminación mediante los focos CFLs.

En la Figura A.2 se muestran los resultados de la medición fasorial para las diferentes condiciones de ensayo de las pruebas TEST 1.

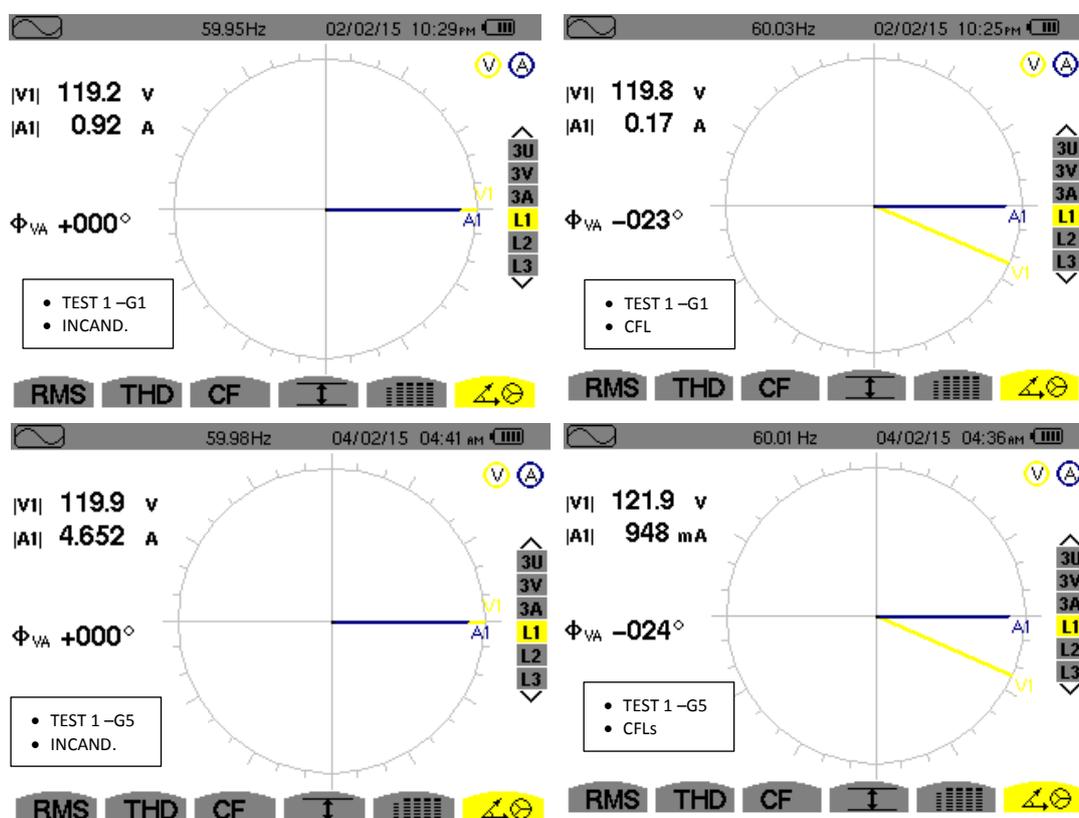


Figura A.2: Medición de Fases, TEST 1

Brevemente, observamos el comportamiento puramente resistivo de los focos incandescentes operando sea en unidad sola, o en el banco de cinco luminarias.

Mientras que las CFLs presentan un comportamiento de carga capacitiva, con un adelanto de la Corriente respecto al Voltaje, de 23° en operación solitaria y de 24° en operación en grupo de cinco luminarias.

En la figura A.3 observamos los resultados de medición de Potencia Eléctrica (Activa, Reactiva y Aparente) y de Factor de Potencia para todos los ensayos realizados en TEST 1.

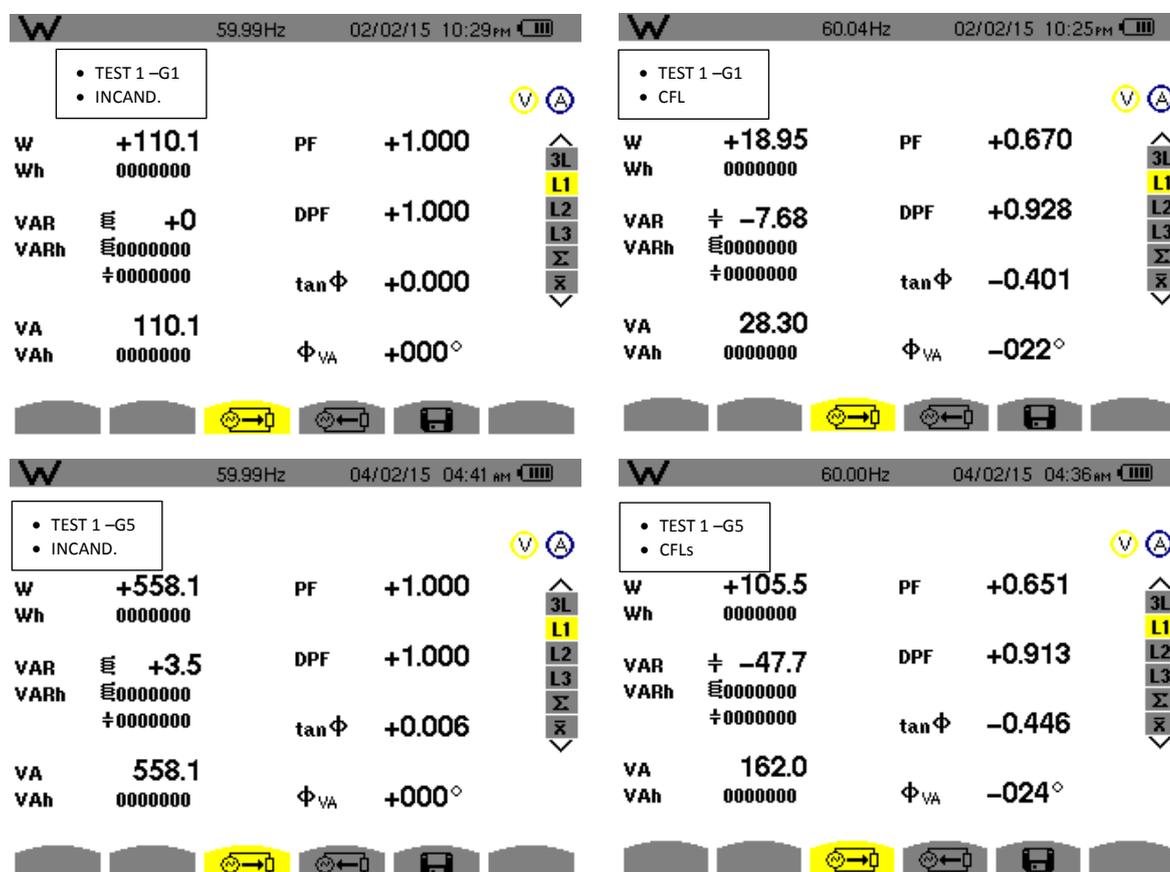


Figura A.3: Medición Potencia Activa, Reactiva, Aparente, Factor de Potencia – TEST 1

En esta medición se determina que la potencia rotulada de 110W para los focos incandescentes es prácticamente igual a la medición 110.1W; de igual manera la potencia rotulada para los CFLs del Programa Nacional del Gobierno Nacional que es 20W, se comprueba con la medición que está en el rango óptimo al registrar 18,95W.

Por otra parte se determina que la Corriente y la Potencia demandadas son significativamente menores cuando se utilizan los focos CFLs en sustitución de los focos incandescentes, pasando de un consumo de 4.7 A a 1.4 A con CFLs y potencias de 558W a 105W, en operación de 5 focos en cada caso.

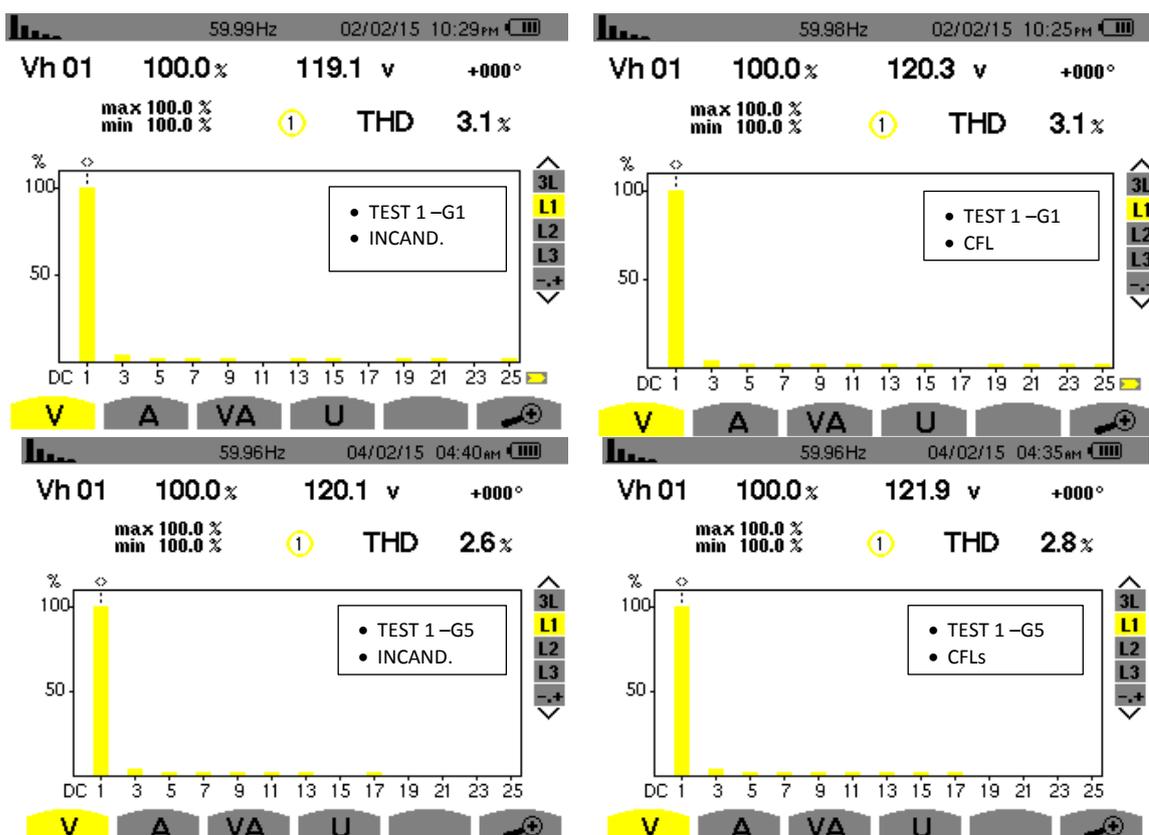
En los focos incandescentes se verifica Factor de Potencia = 1, sea en operación solitaria o en banco de 5 luminarias, lo que evidencia una carga puramente resistiva. Sin embargo el instrumento detecta una pequeña potencia inductiva (+3,5 VAR) en la operación en banco de 5 luminarias incandescentes.

Por otra parte en la operación con CFLs el factor de potencia en operación solitaria es de 0,67 y en banco de cinco luminarias es de 0,651; estos valores cumplen las normativas IEEE Std 1159:2009 e RTE INEN 036:2010, que determinan como Factor de Potencia mínimo aceptable para este tipo de luminarias 0,6.

Cabe volver a enfatizar, con los datos mostrados en la Figura A.3 que aunque este factor de potencia aparece desmejorado, los focos CFLs presentan un comportamiento de carga capacitiva, por lo que incluso podrían constituir un factor

positivo de mejoramiento de factor de carga inductiva, sobre todo de interés para otros ambientes no residenciales.

En la figura A.4 se muestran los resultados del Análisis de Distorsión Armónica de Tensión obtenidos de la prueba TEST 1.



**Figura A.4: Medición Espectro de Armónicas de Voltaje y THDv - TEST 1**

En la figura A.4 se determina que con el uso de ambas tecnologías existe una pequeña distorsión armónica en la tensión que es inferior al límite máximo establecido en la normativa para el desempeño de CFLs (<5%); en la operación de

una (1) sola luminaria, la sustitución del foco incandescente por el foco CFL no presenta ningún cambio en la THDv, estableciéndose en ambos casos en 3,1%.

En la operación de banco de cinco luminarias, la sustitución de los focos incandescentes por focos CFLs producen una variación mínima de 2,6% a 2,8%, permaneciendo dentro del rango aceptado por la norma como óptimo desempeño.

En la figura A.5 se mostrarán los resultados medidos de Distorsión Armónica de la Corriente obtenidos de la prueba TEST 1.

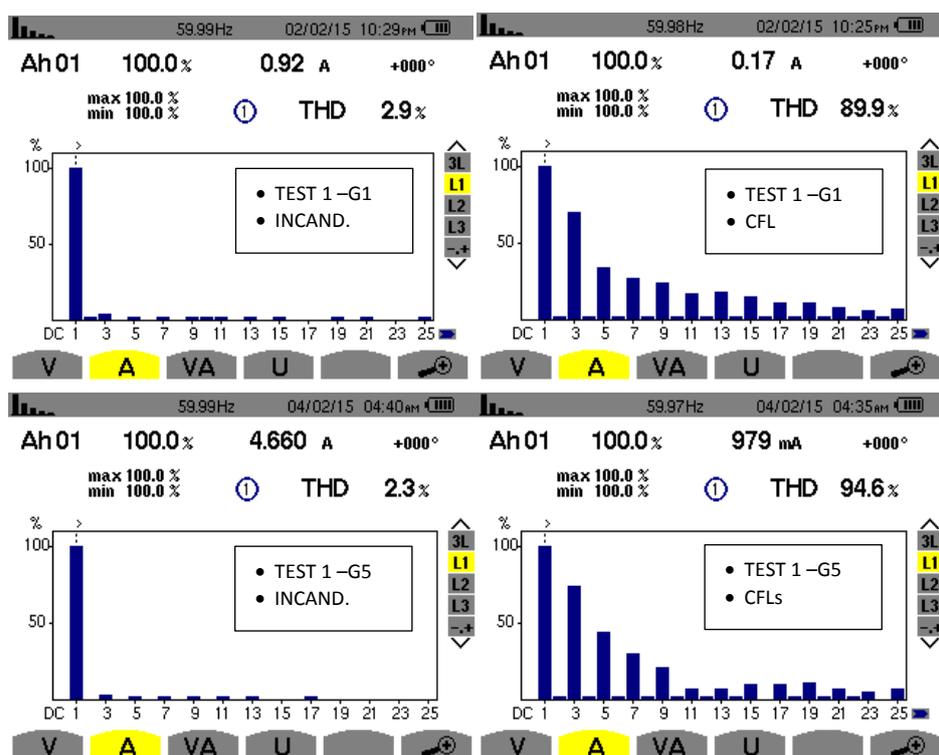


Figura 2.5: Medición Espectro de Armónicas de Corriente y THDi - TEST 1

En estos ensayos se puede determinar un impacto evidente provocado en la línea de potencia, debido al uso de la tecnología de componentes electrónicos en los focos CFLs.

Mientras con el uso de los focos incandescentes la distorsión es mínima, tanto para la operación en solitario, como para el banco de 5 luminarias (2,9% y 2,3% respectivamente), con el uso de los focos CFLs el espectro en corriente está caracterizado por una presencia importante de 3ra y 5ta armónicas, registrando una  $THDi=89,9\%$  para la operación de un (1) CFL en solitario y de  $THDi=94,6\%$  para la operación del banco de 5 CFLs; considerando las componentes de Corriente fundamental y el TDHi respectivo, para cada caso bajo prueba, se determina que el uso de las CFLs incorpora un máximo diferencial de 0.8 A como efecto de la distorsión armónica, con respecto al uso de los focos incandescentes; esta corriente producida por los armónicos, no constituye un problema significativo, considerando que con el uso de las CFLs se descargó del sistema eléctrico bajo prueba, un total de 3.8 A.

## ANEXO B

### TEST 4 – VERIFICACIÓN EN CAMPO DE REQUISITOS GENERALES

A continuación adjuntamos en la Tabla B.1, los resultados de las inspecciones en campo ejecutados por el personal de campo, que incluyeron la verificación en campo de los “Requisitos Generales”, con lo cual se completan las actividades previstas en la norma RTE INEN 036:2010 [1]; estos resultados fueron sistematizados a la culminación de la entrega total de los lotes correspondientes a la Fase 2 del Programa Nacional de Sustitución de Focos Incandescentes por CFLs (2009-2011).

AREA DE CONCESIÓN	INSTALADOS EN CAMPO	DEFECTUOSOS	DAÑADOS EN CAMPO	OTROS	POTENCIA SUSTITUIDA (MW)
E.E. GUAYAQUIL	940.120	56	164	50	75,21
E.E. QUITO	1.412.632	9.785	515	128	113,01
E.E. AMBATO	279.116	502	72	0	22,33
E.E. COTOPAXI	104.921	69	2	0	8,39
E.E. RIOBAMBA	249.740	260	0	0	19,98
E.E. NORTE	246.595	386	19	0	19,73
CNEL ESMERALDAS	99.938	0	2	60	8,00
CNEL SANTO DOMINGO	176.526	1.001	653	40	14,12
CNEL EL ORO	239.980	0	0	0	19,20
CNEL SANTA ELENA	98.267	1.070	552	111	7,86
CNEL MILAGRO	139.958	1	0	0	11,20
E.E. AZOGUES	53.927	0	0	0	4,31
CNEL GUAYAS LOS RÍOS-DAULE	109.010	30	0	0	8,72
CNEL GUAYAS LOS RÍOS-DURÁN	62.901	19	0	0	5,03
CNEL GUAYAS LOS RÍOS-QUEVEDO	64.520	49	21	10	5,16
E.E. REGIONAL SUR	173.240	395	105	20	13,86
CNEL LOS RÍOS	98.229	1.742	9	20	7,86
CNEL BOLÍVAR	57.085	201	29	99	4,57
CNEL SUCUMBÍOS	59.828	55	7	0	4,79
CNEL MANABÍ	191.284	272	364	80	15,30
E.E. CENTROSUR	330.454	2.718	608	120	26,44
<b>TOTAL ITEMS INSTALADOS</b>	<b>5.188.271</b>				415,06
TOTAL ITEMS CON NOVEDADES		18.611	3.122	738	
% NOVEDADES (ITEMS NO CONFORMES, SINIISTRADOS, EVENTOS)		0,36%			

**Tabla B.1: Cuadro de Sustitución Nacional Nov-2009 a Oct.2010 / Programa Nacional de Sustitución de Focos Ahorradores**

En las varias fases del programa durante el periodo del año 2007 al 2011 se totalizó una sustitución de 16 millones de Focos CFLs (focos ahorradores).

Resaltamos que el porcentaje de luminarias CFLs con inconformidades en campo, una vez instalados los 5,2 millones de focos fue de 0,36% sobre el total del stock disponible; que constituye un valor mínimo y que se encuentra por debajo del valor estimado por las pruebas realizadas en TEST 3, que fue 1,25%. Esta previsión contribuyó a un adecuado dimensionamiento de recurso y al éxito general del programa.

## ANEXO C

### ABREVIATURAS Y GLOSARIO DE TÉRMINOS

CFL:	Compact Fluorescent Lamp – Lámpara Fluorescente Compacta, también llamado “Foco Ahorrador”
AC:	Altern Current – Corriente Alterna
DC:	Direct Current – Corriente Directa
THDv:	Total Harmonic Distortion of Voltage – Distorsión Armónica Total de Voltaje
THDi:	Total Harmonic Distortion of Voltage – Distorsión Armónica Total de Corriente
MEER:	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
CONELEC:	Consejo Nacional de Electricidad
CEFEN:	Comité de Eficiencia Energética – Organismo ejecutor en territorio del Programa Nacional de Sustitución de Focos Incandescentes por Focos Ahorradores.
AQL:	Acceptable Quality Limit – Límite Aceptable de Calidad para un control de calidad.
RTE:	Reglamento Técnico Ecuatoriano
NTE:	Norma Técnica Ecuatoriana

INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO:	International Organization for Standardization – Organización Internacional de Estandarización
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
PEC:	Procedimientos de Evaluación de Conformidad
IEC:	International Electrotechnical Commission – Comisión Electrotécnica Internacional
CIE:	Commission Internationale de L'Eclairage – Comisión Internacional de Iluminación
NEMA:	National Electrical Manufacturers Association – Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos
EMI:	Electromagnetic Interference – Interferencia Electromagnética
FFT:	Fast Fourier Transform – Transformada Rápida de Fourier
E-27:	Rosca de tipo Edison de 26-27 mm de diámetro, es el nombre que recibe el mecanismo de ajuste de una lámpara o bombilla incandescente, normalizado por el IEC
W:	Vatios, unidad de Potencia eléctrica activa

VAR: Reactive Volt-Ampere, voltamperio reactivo, unidad para medir Potencia Eléctrica Reactiva en sistemas de corriente alterna.

VA: Volt-Ampere, Voltamperio, unidad para medir la Potencia Eléctrica Compleja o Aparente en sistemas de corriente alterna.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] INEN, RTE INEN 036:2010 – Reglamento Técnico Ecuatoriano “Eficiencia Energética. Lámparas Fluorescentes Compactas. Rangos de Desempeño Energético y Etiquetado”, 2010
- [2] INEN, NTE INEN-IEC 901:2002 – Norma Técnica Ecuatoriana “Lámparas Fluorescentes Compactas. Especificaciones de Rendimiento”. Primera Edición, 2010.
- [3] INEN, NTE INEN-ISO 2859-1:2009 – Norma Técnica Ecuatoriana “Procedimientos de Muestreo para Inspección por Atributos. Parte 1. Programas de Muestreo Clasificados por el Nivel Aceptable de Calidad (AQL) para Inspección Lote a Lote, 2010.
- [4] INEN, PEC INEN 005 – Procedimiento de Evaluación de la Conformidad. “Lámparas Fluorescentes Compactas”, 2010.
- [5] Vasco, Fabricio, Efectos del Empleo de Focos Ahorradores. Estudio Técnico Experimental en Instalaciones, Universidad Politécnica Salesiana, Editorial Universitaria Abya Yala, Primera Edición, 2011.
- [6] Martínez, Darío, Balastro Electrónico Mono-Etapa, Tesis Profesional, Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad de las Américas, Puebla México, 2005. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/martinez\\_v\\_da/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/martinez_v_da/), fecha de consulta Febrero 2015

- [7] Kessler Leandro, “Disección de una lámpara de Bajo Consumo”, Portal Web Afinidad Electrónica, <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=133>, fecha de consulta Febrero 2015.
- [8] García Alvarez, José Antonio, “Así Funcionan las Lámparas Ahorradoras CFL”, artículo electrónico [http://www.asifunciona.com/electronica/af\\_cfl/af\\_cfl\\_4.html](http://www.asifunciona.com/electronica/af_cfl/af_cfl_4.html), fecha de consulta Febrero 2015.
- [9] Persson Eric, Design of Electronic Ballasts, International Rectifier Company and Electrical and Computer Engineering Faculty, University of Minnesota, [http://www.ee.umn.edu/groups/power/month\\_sem/pres\\_17.pdf](http://www.ee.umn.edu/groups/power/month_sem/pres_17.pdf), fecha de consulta Febrero 2015.
- [10] Santoso, Surya, Fundamentals of Electric Power Quality, University of Texas at Austin, Winter 2010 Edition.
- [11] Elliot Rod, Elliot Sound Products, <http://sound.westhost.com/articles/inrush.htm>, fecha de consulta Febrero 2015.
- [12] Rashid, Muhammad, Electrónica de Potencia, Pearson Prentice-Hall, Tercera Edición, 2004.
- [13] Hayt, William, Análisis de Circuitos en Ingeniería, McGraw Hill Cuarta Edición (Segunda edición en español), 1988.
- [14] Van Valkenburg, M.E., Análisis de Redes, Limusa Tercera Edición, 1983.
- [15] Gothelf, Natan, Power Quality Effects of CFLs – A Field Study, Right Light 4, Volume 2, 1997.

[16] Hsu, Hwei P., Análisis de Fourier, Addison-Wesley Iberoamericana, Edición en Español traducida de la 1ra. Edición en inglés, 1987.

[17] Téllez Eugenio, Distorsión Armónica, Programa de Ahorro de Energía, Automatización, Productividad y Calidad S.A. de C.V. México, <http://watergymex.org/contenidos/rtecnicos/Optimizando%20la%20Operacion%20y%20el%20Mantenimiento/Distorsion%20Armonica.pdf>, fecha de consulta Febrero 2015.

[18] CIE 84:1989 – Comisión Internacional de Iluminación “Medición del Flujo Luminoso”

[19] CONELEC, Resolución No. 004/01 “Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución”, 2001

[20] IEEE Std-1159-2009 “Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”, 2009

[21] AENOR, UNE-EN 50160 “Características de la Tensión suministrada por las Redes Generales de Distribución”, 2011

[22] FLUKE Corporation, Manual de Uso Power Quality Logger 1744/1743, 2006

[23] AEMC Instruments, Manual de Uso 3-Phase Power Quality Analyzer - Power Pad 8335, 2008

[24] Chico Hidalgo, Patricio, “Características Eléctricas de las Lámparas Fluorescentes Compactas (CFL)”, Departamento de Automatización y Control

Industrial, Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Escuela Politécnica Nacional. 2009

[25] Jannar, Rana; Dabbagh, M.AI; Muhammad, Azah; Khawaja, R.H.; Akmal, M.; Rehan M., "Impact of Compact Fluorescent Lamp on Power Quality", IEEE Xplore, 2009

[26] M. A. Shafi and R. A. McMahon, "Implementation and Verification of CFL Models for Use in Performance Analysis in High Frequency Electronic Ballasts," *Power Electronics, Machines and Drives, 2006. The 3rd IET International Conference on*, The Contarf Castle, Dublin, Ireland, 2006