



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**MEDICIÓN DE FLUJOS ARMÓNICOS EN BALASTROS  
ELECTRÓNICOS Y SUS EFECTOS EN APLICACIONES COMERCIALES E  
INDUSTRIALES**

**Marlon Martín Guzmán Castañeda**  
ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ

GUATEMALA, octubre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEDICIÓN DE FLUJOS ARMÓNICOS EN BALASTROS  
ELECTRÓNICOS Y SUS EFECTOS EN APLICACIONES  
COMERCIALES E INDUSTRIALES**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR**

**MARLON MARTÍN GUZMÁN CASTAÑEDA  
ASESORADO POR: EL ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**GUATEMALA, octubre de 2010**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero Espínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edwin Efraín Segura
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, someto a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **MEDICIÓN DE FLUJOS ARMÓNICOS EN BALASTROS ELECTRÓNICOS Y SUS EFECTOS EN APLICACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica el 31 de julio de 2007.



Marlon Martín Guzmán Castañeda

Guatemala, Noviembre 11 de 2009.

Ingeniero  
Otto Andrino  
Coordinador Área de Electrotecnia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Andrino:

Por este medio me dirijo a su persona para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado: **MEDICION DE FLUJOS ARMONICOS EN BALASTROS ELECTRONICOS Y SUS EFECTOS EN APLICACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES**, que desarrolló el estudiante: **Marlon Martín Guzmán Castañeda**, el cual a mi criterio cumple con los objetivos propuestos, por lo que doy aprobación al mismo.

Sin otro particular y agradeciendo su atención, quedo de usted.

Atentamente,

  
Ing. Francisco Javier González López  
Colegiado No. 2364

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Ref. EIME 12. 2010  
Guatemala, 18 de FEBRERO 2010.

Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
MEDICIÓN DE FLUJOS ARMÓNICOS EN BALASTROS  
ELECTRÓNICOS Y SUS EFECTOS EN APLICACIONES  
COMERCIALES E INDUSTRIALES del estudiante, Marlon  
Martín Guzmán Castañeda, que cumple con los requisitos  
establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'OtoFernando'.

Ing. Otto Fernando Andrino González  
Coordinador del Area de Potencia

OFAG/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 12. 2010.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; Marlon Martín Guzmán Castañeda titulado: MEDICIÓN DE FLUJOS ARMÓNICOS EN BALASTROS ELECTRÓNICOS Y SUS EFECTOS EN APLICACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES, procede a la autorización del mismo.**

  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 6 DE ABRIL 2010.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 294.2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **MEDICIÓN DE FLUJOS ARMÓNICOS EN BALASTROS ELECTRÓNICOS Y SUS EFECTOS EN APLICACIONES COMERCIALES E INDUSTRIALES**, presentado por el estudiante universitario **Marlon Martín Guzmán Castañeda**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, 5 de octubre de 2010.

/gdech

## **AGRADECIMIENTO A**

- DIOS** Por guiarme por el buen camino, dándome la fuerza, sabiduría y entendimiento necesario.
- MIS PADRES** Terezo Guzmán y María Odilia Castañeda (D. E. P.) por su ejemplo e incondicional apoyo.
- MIS HERMANOS** Por su incondicional apoyo durante mis años de estudio.
- MI ESPOSA** Erika Esquivel de Guzmán, por su amor y apoyo.
- MIS HIJOS** Javier Enrique y Dulce María, por ser la razón para salir adelante.
- MI AMIGO** Ing. Juan Luis Eduardo Sinibaldi Calzia, por su apoyo incondicional.
- Mi ALMA MATER** Universidad de San Carlos de Guatemala.  
Facultad de Ingeniería por haberme brindado la oportunidad de estudiar y ser un profesional egresado de esta casa de estudios.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>TABLAS</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XXI</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XXIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXV</b>
<b>1. LÁMPARAS DE DESCARGA</b>	
1.1. Lámparas de vapor de mercurio	1
1.2. Lámparas de vapor de sodio	1
1.3. Lámparas de halogenuros metálicos	2
1.4. Balastos para lámparas de descarga	2
1.5. Tipos de balastos	3
1.5.1. Balastos magnéticos	3
1.5.2. Vida media de los balastos magnéticos	3
1.6. Balastos electrónicos	5
1.6.1. Electrónicas	5
1.6.2. Balastos electrónicos para lámparas fluorescentes	5
1.6.3. Características de los balastos electrónicos	6
1.6.3.1. Funcionamiento en alta frecuencia	6
1.6.3.2. Efecto estroboscópico	7
1.6.3.3. Flujo luminoso	8
1.6.3.4. Costos	8
1.6.3.5. Entorno	9

1.6.3.5.1. Otras ventajas importantes	9
1.6.4. Vida media de los balastos electrónicos	10
1.6.5. Funcionamiento	11
1.6.5.1. Diagrama de bloques	11
1.6.5.2. Filtro supresor de interferencias	12
1.6.5.3. Etapa rectificadora	13
1.6.5.4. Etapa correctora del factor de potencia	13
1.6.5.5. Etapa de filtrado	13
1.6.5.6. Etapa de oscilación y control	13
1.6.5.7. Etapa de pre-caldeo	14
1.6.5.8. Etapa de salida	14
1.6.6. Tipos de interferencias	14
1.6.6.1. Interferencia conducida	14
1.6.6.2. Interferencia radiada	14
1.6.7. Índice de eficiencia energética	15
1.6.7.1. Índice de eficiencia energética (EEI)	16
1.6.7.2. Factor de luminosidad de balastro (BFL)	16
1.6.7.3. Marcado	17
1.6.8. Normas de fabricación de balastos magnéticos	18
1.6.9. Normas de fabricación de balastos electrónicos	20
<b>2. LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS CFL</b>	<b>23</b>
2.1. Partes de una lámpara fluorescente compacta CFL	24
2.1.1. Tubo fluorescente	25
2.1.2. Balastro electrónico	26

2.1.3. Base	27
2.2. Funcionamiento de lámparas fluorescentes compactas CFL	27
2.3. Características de las lámparas fluorescentes CFL	30
2.4. Ventajas de las lámparas fluorescentes compactas CFL comparadas con las incandescentes	31
<b>3. ARMÓNICOS</b>	<b>33</b>
3.1. Qué se entiende por calidad de la potencia	33
3.2. Distorsiones de la forma de onda	34
3.2.1. Variación de voltaje continuo (Dc offset)	34
3.2.2. Armónicos	35
3.2.3. Inter-armónica	37
3.2.4. <i>Notching</i>	38
3.2.5. <i>Noise</i> (ruido)	39
3.3. Fluctuaciones de voltaje	39
3.4. Armónicos	39
3.5. Distorsión armónica total	42
3.6. Potencias	43
3.6.1. La potencia instantánea	43
3.6.2. Carga lineal alimentada con voltaje no senoidal	48
3.6.3. Carga conectada a una red de potencia infinita	53
3.7. Secuencia	58
3.8. Fuentes de armónicos	59
3.9. Compensación de armónicos	61
3.10. Clasificación de los armónicos	61
3.11. Lámparas fluorescentes y sus armónicos	62
3.12. Normas	64
3.13. Efectos asociados a la reducción de armónicos	64
<b>4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS LÁMPARAS</b>	

<b>FLUORESCENTES COMPACTAS CFL</b>	67
4.1 Introducción	67
4.2. Procedimiento	68
4.3. Características del equipo	69
4.3.1. Analizador de calidad de energía	69
4.3.2. Computadora personal	70
4.3.3. Multímetro digital	70
4.3.4. Lámparas compactas fluorescentes CFL utilizadas en las pruebas	71
<b>5. MEDICIONES Y EFECTOS DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS</b>	75
5.1. Resultados de lámparas fluorescentes compactas marca EM	76
5.1.1. Mediciones de lámparas fluorescentes CFL EM 9W.	76
5.1.2. Mediciones de lámparas fluorescentes CFL EM 16W	78
5.1.3. Análisis de resultados	79
5.2. Resultados de lámparas fluorescentes compactas marca GE	81
5.2.1. Mediciones de lámparas fluorescentes CFL GE 10W	81
5.2.2. Mediciones de lámparas fluorescentes CFL GE 26W	83
5.2.3. Análisis de resultados	84
5.3. Resultados Electrolite	85
5.3.1. Mediciones de lámparas fluorescentes CFL Electrolite 23W.	85
5.3.2. Análisis de resultados	87
5.4. Resultados de lámparas fluorescentes compactas marca Philips	88
5.4.1. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 13W	88
5.4.2. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 20W	90

5.4.3. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 23W	91
5.4.4. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 27W	93
5.4.5. Análisis de resultados	95
5.5. Efectos de las lámparas fluorescentes compactas CFL	96
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>99</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>
<b>REFERENCIAS ELÉCTRONICAS</b>	<b>103</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Años de vida en función de la temperatura de bobinados	4
2. Funcionamiento en alta frecuencia	6
3. Vida esperada de funcionamiento	9
4. Temperatura vs. horas de vida	11
5. Diagrama de bloques	12
6. Índice de eficiencia energética	16
7. Tipos de etiquetas de eficiencia energética	18
8. Partes de una lámpara fluorescente compacta CFL	24
9. Filamentos colocados dentro de los tubos de una lámpara fluorescente compacta CFL	25
10. Balastro electrónico de una lámpara fluorescente compacta CFL	26
11. Diagrama de bloques de una lámpara fluorescente compacta CFL	28
12. Distorsión de onda Dc offset	34
13. Fundamental con tercero y quinto armónico	36
14. Forma de onda distorsionada	36
15. Horno de arco	37
16. Variaciones rápidas de tensión (parpadeo o flicker)	38
17. Forma de ondas	40
18. Triángulo de potencias	47
19. Triángulo de potencia de distorsión D	52
20. Espectros armónicos y distorsiones totales armónicas de corriente ( $THD_I$ ) de cargas no lineales típicas.	60
21. Distorsión armónica total de voltaje	62

22. Distorsión armónica total de corriente	63
23. Analizador de calidad de potencia	70
24. Multímetro digital Fluye	71
25. Lámparas sometidas a pruebas	73
26. Esquema del circuito eléctrico bajo prueba	74
27. Diagrama básico de una lámpara compacta CFL	75
28. Espectro de voltaje EM 9W	77
29. Espectro de corriente EM 9W	77
30. Espectro de voltaje EM 16W	78
31. Espectro de corriente EM 16W	79
32. Espectro de voltaje GE 10W	82
33. Espectro de corriente GE 10W	82
34. Espectro de voltaje GE 26W	83
35. Espectro de corriente GE 26W	84
36. Espectro de voltaje Electrolite 23W	86
37. Espectro de corriente Electrolite 23W	86
38. Espectro de voltaje Philips 13W	89
39. Espectro de corriente Philips 13W	89
40. Espectro de voltaje Philips 20W	90
41. Espectro de corriente Philips 20W	91
42. Espectro de voltaje Philips 23W	92
43. Espectro de corriente Philips 23W	92
44. Espectro de voltaje Philips 27W	94
45. Espectro de corriente Philips 27W	94

## TABLAS

I	Límites de distorsión de corriente en general para sistemas de distribución de 120V hasta 69,000V	65
II	Límites de distorsión de corriente en general para sistemas de distribución de 120V hasta 69,000V	66
III	Características de lámparas compactas CFL marca EM	71
IV	Características de lámparas compactas CFL marca Philips	72
V	Características de lámparas compactas CFL marca Electrolite	72
VI	Características de lámparas compactas CFL marca General Electric	73
VII	Resultado de medición en lámparas CFL EM 9W	76
VIII	Resultado de medición en lámparas CFL EM 16W	78
VIX	Resultado de medición en lámparas CFL GE 10W	81
X	Resultado de medición en lámparas CFL GE 26W	83
XI	Resultado de medición en lámparas CFL Electrolite 23W	85
XII	Resultado de medición en lámparas CFL Philips 13W	88
XIII	Resultado de medición en lámparas CFL Philips 20W	90
XIV	Resultado de medición en lámparas CFL Philips 23W	91
XV	Resultado de medición en lámparas CFL Philips 27W	93



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$Hz$	Hertz
$t_w$	Temperatura máxima
$^{\circ}C$	Grados centígrados
$\Delta t$	Incremento de temperatura del bobinado sobre la temperatura ambiente en condiciones normales de funcionamiento.
$t_a$	Temperatura ambiente
%	Porcentaje
+	Valor positivo
-	Valor negativo
T	Temperatura
$h$	Hora

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$t_c$	Temperatura de calentamiento.
$H$	Campo magnético
$E$	Campo eléctrico
lm	Lumens
$^{\circ}K$	Grados Kelvin
$a_0$	Valor constante conocido como valor medio de una función $f(t)$ en el desarrollo de serie de Fourier de dicha función $f(t)$ .
$C_h$	Es la amplitud h-esima armónica.
$\beta_h$	Ángulo de fase de h-esima voltaje armónica.
$I_h$	Es el valor eficaz de la componente armónica de orden h.
$THD_v$	Distorsión de armonica total de voltaje.

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$THD_1$	Distorsión de armónica total de corriente.
$V_h$	Valor eficaz de la componente armónica de orden h.
$\cos \phi = fp$	Factor de potencia indicada del desfase entre la tensión y corriente de un circuito eléctrico.
$Q$	Potencia reactiva
$Z$	Impedancia
$R$	Resistencia
$jX$	Parte imaginaria
$W$	Watts



## GLOSARIO

<b>Amperio</b>	Unidad de medida de corriente eléctrica.
<b>ANSI</b>	<i>American National Standards Institute.</i> Federación encargada de preparar recomendaciones y normas que cubren un gran aspecto de campos tecnológicos en los Estados Unidos.
<b>AWG</b>	<i>American Wire Gauge.</i> Organización que regula las medidas de los conductores.
<b>Balastros electromagnéticos</b>	Impedancias inductivas compuestas por bobinas de hilo de cobre y núcleos de acero.
<b>Balastros o reactancias</b>	Son dispositivos empleados para limitar y estabilizar la corriente de arco de las lámparas de descarga.
<b>Campo eléctrico</b>	Un campo eléctrico es un campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas y se mide en voltios por metro (v/m).

**Campo magnético**

Un campo magnético es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas. Su unidad de medida es Gauss (G) o Tesla (T).

**CD**

Corriente directa

**Compatibilidad  
electromagnética**

Se define compatibilidad electromagnética como capacidad de un aparato dispositivo o sistema para funcionar satisfactoriamente en un entorno electromagnético sin producir interferencias inaceptables para su entorno.

**Efecto estroboscópico**

Como consecuencia de utilizar corriente alterna en las redes de alimentación, la intensidad que alimenta la lámpara pasa por cero dos veces por periodo, disminuyendo su intensidad luminosa casi a cero en esos momentos. Esto ocasiona un parpadeo que aumenta la fatiga visual y produce una sensación de un movimiento menor al real en los cuerpos en rotación.

<b>EN</b>	Normas europeas, adoptadas y ratificadas como normas españolas “UNE-EN”. Son elaboradas por CEN (Comité Europeo de normalización) a través de sus comités técnicos (TC) con objeto de unificar los criterios de normalización en el ámbito europeo.
<b>Factor K</b>	Un número basado en el contenido armónico de corriente de carga que determina la carga máxima segura sobre una fuente de potencia.
<b>Flujo luminoso</b>	Es la cantidad de energía radiante luminosa emitida por una fuente de luz en una unidad de tiempo, se trata por tanto de una potencia luminosa. Lumen (lm).
<b>Impedancia</b>	Es la oposición al paso de la corriente eléctrica que incluye a resistencias, bobinas, condensadores.
<b>Inductancia</b>	Se le llama inductancia al campo magnético que crea una corriente eléctrica al pasar a través de un bobina de hilo conductor enrollado alrededor de la misma que conforma un inductor.

<b>Joule</b>	El julio o joule (J) es la unidad de medida del sistema internacional para energía y trabajo.
<b>Lámparas de descarga</b>	Son fuentes luminosas cuyo principio de funcionamiento consiste en generar luz mediante una descarga eléctrica producida entre dos electrodos situados en el interior de un tubo lleno de gas.
<b>Lámparas incandescentes</b>	Dispositivo que produce luz mediante el calentamiento por efecto Joule de un filamento metálico.
<b>Megger</b>	Instrumento para medir la resistencia al paso de corriente eléctrica en la tierra.
<b>Ohms</b>	Unidad de medida de la resistencia eléctrica entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante 1 a 1 voltio, aplicada entre dos puntos, produce en el conductor una corriente de 1 amperio.
<b>PT</b>	<i>Potencial Transformer.</i> Transformador de potencial.
<b>RF</b>	Radio frecuencia

<b>Starter</b>	Dispositivo que proporciona el voltaje necesario para el encendido de una lámpara fluorescente.
<b>VAC</b>	Voltaje en corriente alterna
<b>VDC</b>	Voltaje en corriente directa
<b>Voltio</b>	Unidad de medida de la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un alambre conductor por el que circula una corriente constante de 1 amperio cuando la potencia disipada entre sus puntos es de 1 watt.
<b>Watt</b>	Unidad de medida de la potencia que da lugar a la producción de energía a razón de 1 joule por segundo.



## RESUMEN

En el primer capítulo se describen los distintos tipos de lámparas de descarga, así como las normas que son utilizadas para la construcción de los balastos. También, se encuentran las curvas para el análisis del tiempo de años de vida en función de la temperatura, tanto para balastos electromagnéticos como electrónicos.

En el capítulo de lámparas fluorescentes compactas CFL se desarrolla el tema de los balastos electrónicos, cuyas características principales son el funcionamiento en alta frecuencia y el ahorro en el consumo de energía eléctrica, que es aproximadamente una quinta parte de la energía eléctrica que requiere una lámpara incandescente.

Además, se mencionarán otras características de este tipo de balastos como el ahorro de energía eléctrica y vida media, así también el efecto estroboscópico y las distorsiones armónicas.

Las distorsiones armónicas son ondas de voltaje o corriente cuya frecuencia es mayor a la frecuencia fundamental de la red. Además, se les considera como fenómenos complejos eléctricos.

El parámetro más importante para analizar los armónicos es el orden y para su análisis matemático se utiliza la serie de *Fourier*.

En el capítulo de las características eléctricas de las lámparas fluorescentes CFL se encuentra la información técnica del equipo y diagramas

eléctricos utilizados para la medición. Como también los resultados obtenidos e interpretación de los mismos. Además, se observará que el armónico predominante en todas las lámparas fluorescentes compactas CFL medidas corresponde al tercer armónico.

## OBJETIVOS

- **Generales**

- 1) Dar a conocer la importancia de los fenómenos de la distorsión armónica en la red de distribución, mediante mediciones de calidad de energía.
- 2) Despertar el espíritu de investigación a los lectores en el área de calidad de energía con relación a distorsiones armónicas que se presentan en la red de distribución.

- **Específicos**

1. Reducción en el consumo de energía eléctrica en Guatemala.
2. Dar a conocer la generación de armónicos en las lámparas fluorescentes compactas CFL.
3. Dar a conocer el armónico predominante que generan las lámparas fluorescentes compactas CFL.
4. Que el lector pueda distinguir entre los tipos de fabricantes de lámparas fluorescentes compactas CFL más eficientes.

5. Que el usuario pueda distinguir los beneficios que tienen las lámparas fluorescentes compactas CFL.
6. Dar a conocer los balastos menos eficientes.
7. Expresar la importancia de contar con reglamentación y/o normativas sobre los límites de distorsión armónica para las lámparas fluorescentes compactas CFL en Guatemala.

## INTRODUCCIÓN

Debido a la necesidad de ahorrar energía eléctrica y proporcionar ayuda a la ecología y al mundo entero, se han originado nuevos procesos científicos eléctricos. Parte medular del presente trabajo de graduación es demostrar las mejores formas de ahorro de energía eléctrica, por medio de lámparas y balastos ahorradores.

Dentro de los temas desarrollados se puede mencionar las lámparas de descarga que son aquellas fuentes luminosas cuyo principio es generar luz, ahorrar energía y brindar además muchos beneficios de acuerdo con de los modelos y formatos electrónicos. Hay distintos tipos de lámparas de descarga que se clasifican según el tipo de gas utilizado y la presión de él en el interior del tubo.

Para cada tipo de lámpara existe un uso específico con la facilidad ergonómica de poderlas ubicar en cualquier espacio requerido, son fáciles de adquirir, instalar y reubicar.

Hay dos tecnologías de balastos bien definidas (electromagnéticos, electrónicos). Los balastos o reactancias electromagnéticos fueron los primeros en utilizarse y han sido utilizados por mucho tiempo. Con el avance de la tecnología surgen los balastos electrónicos que son a base de dispositivos electrónicos.

Dichos balastos electrónicos constituyen un sistema de alimentación de alta frecuencia, que hacen trabajar a las lámparas fluorescentes a frecuencias superiores de 20 khz, pero existe un rango aproximado de frecuencia que no debe sobrepasar a los 60 khz.

Debido al incremento de la frecuencia se reduce la corriente en la lámpara y por lo tanto, la potencia de la misma. Este tipo de balastos no tienen el efecto estroboscópico que es el parpadeo, el cual brinda como resultado una fatiga visual.

Este tipo de balastro brinda un funcionamiento silencioso, así como también se reduce el tiempo de mantenimiento debido a que trabaja con corriente y potencias más pequeñas; además el tiempo de vida útil es más elevado comparado con las de tipo magnético.

Las lámparas fluorescentes compactas CFL que llevan por dentro un balastro electrónico en miniatura.

Es el tipo de en el que se enfoca el estudio y de donde se toman todas las muestras para el análisis.

El tipo de balastro – lámpara electrónico viene a sustituir a las lámparas o bombillos incandescentes, algunas características de éstos son, compatibilidad de los sockets de las lámparas incandescentes comunes, varios tipos de tonalidades; encendido inmediato, precio más alto comparado con las incandescentes.

Se pueden mencionar algunas ventajas como que consumen  $1/5$  parte de la energía eléctrica comparada con una lámpara incandescente, es decir 80% menos, el tiempo de vida útil oscila entre 6,000 a 8,000 hrs. en comparación de las lámparas incandescentes que tienen un tiempo de vida útil aproximado de 1,000 hrs.

A las lámparas fluorescentes compactas CFL se les realizaron mediciones de energía con énfasis en la cantidad de armónicos en cada una de ellas.

Los armónicos son distorsiones de onda que se suman a la onda fundamental. Esto causa que la fundamental se vea totalmente deforme. Para tener un parámetro de lo distorsionado de la onda hay para tener una medida de las distorsiones armónicas; existen términos que se utilizan para esto como *VTHD*, *ATHD*, que son la distorsión total de voltaje y la distorsión total de corriente, respectivamente, los cuales se analizan mediante la serie de *Fourier*.

En el triángulo potencia con distorsión se puede ver que aparecen unas cuantas potencias que se llaman potencias de distorsión D. Dicha potencia se puede compensar pero primero se debe saber qué tipo de armónicos se tiene, ya sea de voltaje o corriente, regularmente el armónico en voltaje se mantiene siempre en los límites; mientras que los armónicos en la corriente son los más perjudiciales, debido a que pueden causar calentamiento y pérdidas a la red o transformadores.



# **1. LÁMPARAS DE DESCARGA**

Se denominan lámparas de descarga, a todas aquellas fuentes luminosas cuyo principio de funcionamiento consiste en generar luz mediante una descarga eléctrica, producida entre dos electrodos situados en el interior de un tubo lleno de gas, a diferencia de las lámparas incandescentes en las que la luz emitida se debe a las altas temperaturas alcanzadas en el filamento. Las lámparas de descarga se pueden clasificar en distintos tipos según el gas utilizado y la presión a la que se encuentre en el interior del tubo de descarga.

## **1.1. Lámparas de vapor de mercurio**

- a- Baja presión: lámparas fluorescentes.
- b- Alta presión: lámparas de vapor de mercurio a alta presión.

## **1.2. Lámparas de vapor de sodio**

- a- Lámparas de vapor de sodio a baja presión.
- b- Lámparas de vapor de sodio a alta presión.

### **1.3. Lámparas de halogenuros metálicos**

Cada tipo de lámpara posee propiedades diferentes, por lo que deben ser seleccionadas dependiendo de la aplicación a la cual estén destinadas. Una característica común a las lámparas de descarga es que poseen una impedancia al paso de la corriente que disminuye a medida que esta aumenta, por lo que no pueden ser conectadas directamente a la red de alimentación sin un dispositivo que controle la intensidad de corriente que circule por ellas. Este dispositivo es lo que habitualmente se conoce como balastro o reactancia.

### **1.4. Balastos para lámparas de descarga**

Las reactancias o balastos son accesorios para utilizar en combinación con las lámparas de descarga, con el fin de conseguir un correcto funcionamiento de éstas. Realizan las siguientes funciones:

- a. Proporcionan la tensión necesaria para el encendido de la lámpara.
- b. Limitan la corriente que circula por las lámparas a los valores exigidos para un funcionamiento adecuado.

Debido a las diferentes características eléctricas de cada lámpara y las condiciones de instalación, es necesario un balastro específico para cada tipo de aplicación; existe una gran diversidad de tipos. Hay dos grupos bien diferenciados de balastos para lámparas de descarga, en función de la tecnología.

## **1.5. Tipos de balastos**

### **1.5.1. Balastos magnéticos**

Son impedancias inductivas, compuestas principalmente por bobinas de hilo de cobre y núcleos de acero, que realizan el precalentamiento de los cátodos, proporcionan la tensión para el encendido y limitan la corriente que circula por las lámparas.

Con estos balastos las lámparas trabajan a la frecuencia de la red de alimentación de 60Hz.

### **1.5.2. Vida media de los balastos magnéticos**

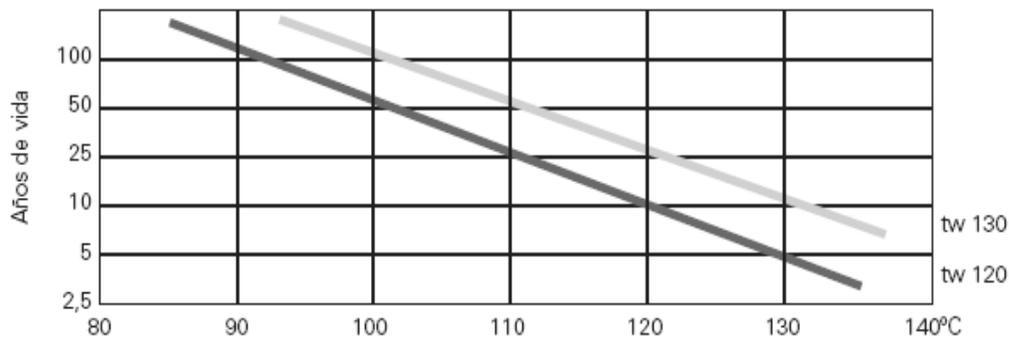
Además de una correcta instalación de acuerdo con recomendaciones del fabricante y funcionando en condiciones normales, la temperatura a la que trabajan los balastos resulta un factor decisivo en la vida de éstas.

Los balastos, al igual que la mayoría de componentes eléctricos, producen calor durante su funcionamiento debido a la potencia perdida propia.

Los balastos no deben superar una temperatura máxima de funcionamiento. Esto se expresa con el parámetro **tw** que indica la temperatura máxima a la que pueden funcionar constantemente los bobinados de un balastro en condiciones normales, a su tensión y frecuencia nominales, para asegurar una vida media de 10 años.

Las temperaturas, en el bobinado durante el funcionamiento superiores al **tw** marcado reducen la vida media esperada, mientras que temperaturas inferiores la aumentan. Esto se detalla en el siguiente gráfico, que analiza los años de vida en función de la temperatura de los bobinados.

Figura 1. **Años de vida en función de la temperatura de bobinados**



Años de vida de los balastos o reactancias electromagnéticas en función de la temperatura **tw**

Fuente: Especialidades en Luminotecnia. **Dossier técnico**. Pág. 15

Al conocer el parámetro delta t;  $\Delta t = t_w - t_a$ , definido como el calentamiento de los bobinados de un balastro sobre la temperatura ambiente en la que está instalada, funcionando en condiciones normales, a tensión y frecuencia nominales, y conocido el **tw**, se puede definir **t<sub>a</sub>** como la temperatura ambiente máxima a la que puede funcionar una reactancia en condiciones normales.

$$t_a = tw - \Delta t$$

Ejemplo: para una reactancia cuyo **tw = 130** y su  $\Delta t = 60^\circ\text{C}$  se obtiene una temperatura ambiente máxima **t<sub>a</sub> = 70°C**.

## **1.6. Balastos electrónicos**

### **1.6.1. Electrónicas**

Se trata de sistemas electrónicos sustitutivos de la instalación convencional compuesta por balastro, arrancador y condensador de corrección del factor de potencia. Con estos balastos se hace trabajar a las lámparas a frecuencias superiores a la de la red, en el caso de las lámparas fluorescentes, se consigue un mayor rendimiento lumínico. Sin embargo, para lámparas de vapor de sodio a alta presión y halogenuros metálicos no se consigue mejoras apreciables.

### **1.6.2. Balastos electrónicos para lámparas fluorescentes**

Los balastos electrónicos constituyen un sistema de alimentación de alta frecuencia para lámparas fluorescentes, sustitutivo de la instalación convencional compuesta por un balastro magnético, *starter* y condensador para alto factor de potencia.

Este sistema consiste en un circuito impreso con componentes electrónicos que hacen trabajar a las lámparas a frecuencias por encima de los 20 kHz, a diferencia de los balastos convencionales magnéticos trabajan a la frecuencia de la red.

La aplicación de los balastos electrónicos se extiende a todo tipo de lámparas fluorescentes. El ahorro energético unido a las ventajas técnicas, así como la nueva legislación en términos de eficiencia energética, auguran un gran aumento del uso de aplicaciones electrónicas para alumbrado.

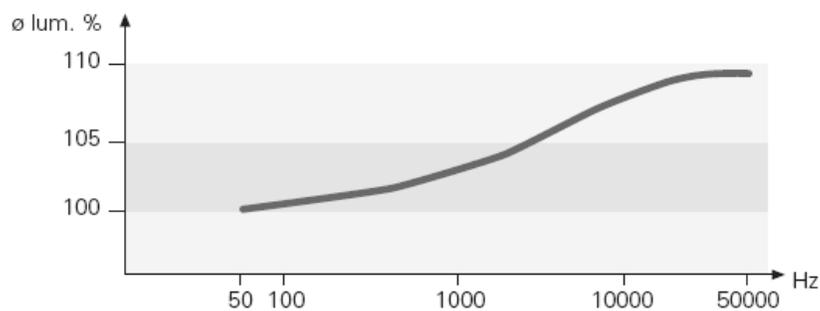
### 1.6.3. Características de los balastros electrónicos

#### 1.6.3.1. Funcionamiento en alta frecuencia

La principal característica de los balastros electrónicos es el funcionamiento de las lámparas en alta frecuencia.

Haciendo trabajar a las lámparas fluorescentes a frecuencias superiores a 20KHz, el flujo luminoso obtenido, para la misma potencia en lámpara, es hasta un 10% mayor que el obtenido con 60Hz.

Figura 2. **Funcionamiento en alta frecuencia**



Fuente: Especialidades en Luminotecnia. **Dossier técnico**. Pág. 31

Sin embargo, trabajar a frecuencias superiores a 60 KHz no supone una mejora significativa en el aumento de la eficiencia lumínica.

Gracias a este comportamiento, los balastros electrónicos de alta frecuencia reducen la corriente en la lámpara, y por tanto la potencia en la misma, para obtener el mismo flujo que con 60Hz.

### **1.6.3.2. Efecto estroboscópico**

Como consecuencia de utilizar corriente alterna en las redes de alimentación, la intensidad que alimenta la lámpara pasa por cero dos veces por periodo y disminuye su intensidad luminosa casi a cero en esos momentos. Esto ocasiona un parpadeo que aumenta la fatiga visual y produce una sensación de un movimiento menor al real en los cuerpos en rotación.

Al usar balastos electrónicos que aumentan la frecuencia la lámpara se alimenta en alta frecuencia, por lo que los instantes de paso por cero de la intensidad son de un valor temporal tan pequeño que son imperceptibles para el ojo humano, así se corrige este molesto y peligroso fenómeno.

El uso de balastos electrónicos elimina el parpadeo característico en el encendido de las lámparas fluorescentes y proporciona un encendido más agradable.

Los balastos electrónicos proveen una completa estabilidad de la potencia en lámpara y por tanto del flujo luminoso ante variaciones de la tensión de alimentación, de hasta el  $\pm 10\%$  de la tensión nominal del balastro, suministra un nivel de iluminación constante.

### **1.6.3.3. Flujo luminoso**

Debido a la mayor estabilización de potencia y flujo luminoso que proporcionan los balastos de alta frecuencia, se obtiene una mayor uniformidad en los parámetros eléctricos, y, como consecuencia, un menor deterioro en el flujo de la lámpara con el paso del tiempo.

Al utilizar balastos electrónicos en las luminarias se consigue eliminar el zumbido que se produce en algunas situaciones con balastos magnéticos, debido al campo magnético disperso.

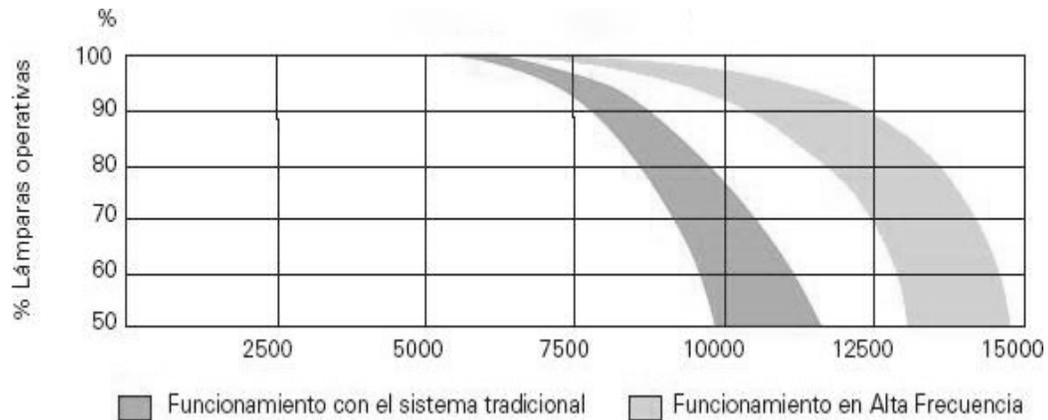
Supone un desembolso inicial algo mayor que con bombillos incandescentes, sin embargo al hacer una comparación entre el costo económico kWh y el tiempo de vida útil se puede llegar a la rentabilidad del uso de estas.

#### **1.6.3.4. Costos**

Debido a que en alta frecuencia se obtiene un mayor flujo luminoso, es necesaria una menor potencia. Además, los equipos electrónicos, por su propio diseño, poseen menores pérdidas que el balastro convencional.

Estos balastos trabajan con menores corrientes en comparación con un balastro magnético, lo que permite reducir la temperatura y el desgaste de la lámpara y se traduce en una mayor duración o vida útil de la misma. El mantenimiento se ha reducido por la mayor duración de vida útil de las lámparas.

Figura 3. Vida esperada de funcionamiento



Fuente: Especialidades en Luminotecnia. **Dossier técnico**. Pág. 34

### 1.6.3.5. Entorno

Con los balastos electrónicos, al poseer un mayor rendimiento lumínico y menores pérdidas, se obtienen una mejor eficiencia energética que con balastos magnéticos y se alcanza índices de eficiencia energética IEE=A1, A2 ó A3, según la clasificación de la directiva de eficiencia energética.

Gracias a las ventajas comentadas, de menor potencia total, se obtienen incrementos de temperatura menores.

#### 1.6.3.5.1. Otras ventajas importantes

a- Un único balastro es válido para diferentes tensiones, frecuencias de red y potencias de lámparas.

b- Uso de un solo balastro para varias lámparas.

- c- No necesitan starter de encendido.
- d- Pueden funcionar como alumbrado de emergencia alimentadas en corriente continua.
- e- Menor peso.
- f- Montaje más fácil y rápido.

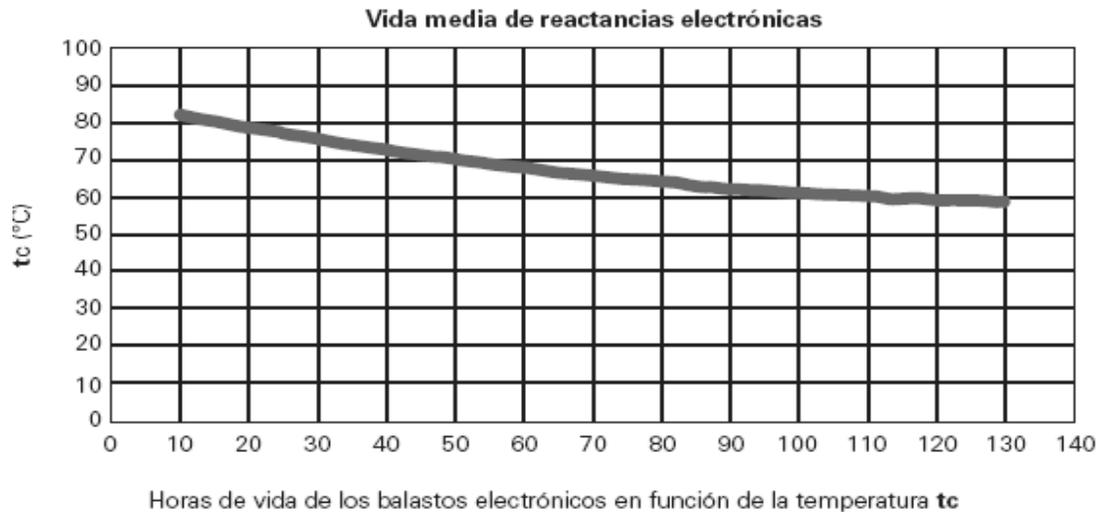
#### **1.6.4. Vida media de los balastros electrónicos**

Los balastros electrónicos, por ser menos robustos que los balastros magnéticos, deben ser tratados con cuidado, como cualquier otro equipo electrónico doméstico.

La vida media de los balastros electrónicos depende de la temperatura de trabajo. Como todo elemento electrónico, el balastro de alta frecuencia tiene un consumo propio para su funcionamiento, que se transforma íntegramente en calor.

Para controlar los calentamientos, los balastros electrónicos deben llevar sobre la envolvente un punto donde debe medirse la temperatura para comprobar que no se sobrepasa el valor indicado por el fabricante.

Figura 4. **Temperatura vs. horas de vida**



Fuente: Especialidades en Luminotecnia. **Dossier técnico**. Pág. 15

Este punto se denomina  $t_c$ . el cual funcionando a la temperatura máxima indicada puede esperar una vida media de 50,000 horas. Una temperatura inferior a la marcada alargará la vida media estimada, pero una temperatura superior la podría acortar de forma significativa.

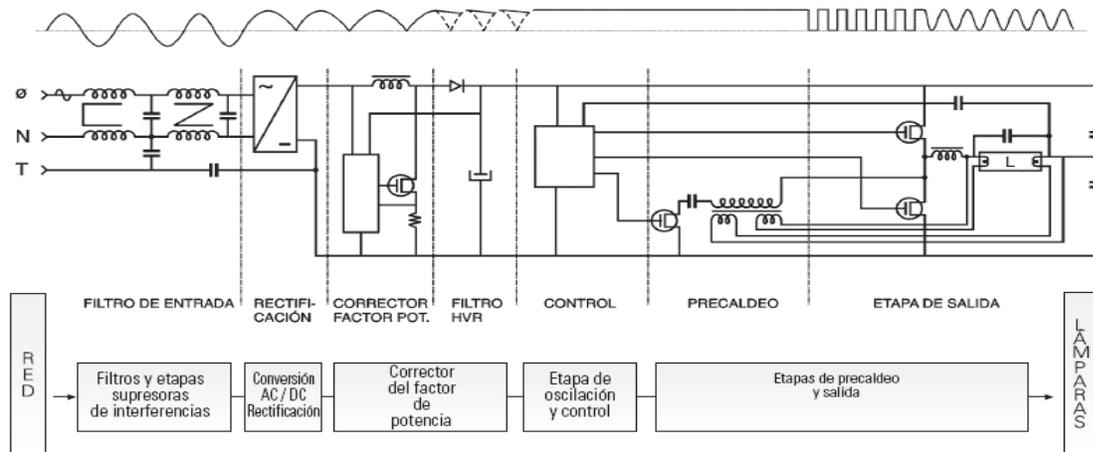
### 1.6.5. Funcionamiento

El funcionamiento de un balastro electrónico se puede analizar por medio de diagramas de bloques.

#### 1.6.5.1. Diagrama de bloques

La estructura general básica de un balastro se presenta en la figura No.5.

Figura 5. Diagrama de bloque



Fuente: Especialidades en Luminotecnia. **Dossier técnico**. Pág. 35

### 1.6.5.2. Filtro supresor de interferencias

Los balastros electrónicos son aparatos que operan con elevadas tensiones de conmutación y altas frecuencias, los cuales son fuentes importantes de ruidos eléctricos y emisiones no deseables. Que deben ser eliminados o disminuidos según exigencias de la normativa.

Esta etapa está formada por un circuito de bobinas y condensadores que derivan a tierra los componentes no deseados en forma de corrientes de dispersión o de fuga. Realiza las siguientes funciones:

1. Disminuye las emisiones de alta frecuencia conducidas a la red.
2. Reduce armónicos.
3. Contribuye a la mejora del factor de potencia, ya que reduce la modulación de alta frecuencia en la onda de corriente de alimentación.

### **1.6.5.3. Etapa rectificadora**

La etapa rectificadora tiene por finalidad convertir la tensión alterna de entrada en una tensión continua pulsada:

### **1.6.5.4. Etapa correctora del factor de potencia**

El factor de potencia se define como indicador del desfase entre la tensión y corriente de un circuito eléctrico.

La etapa correctora del factor de potencia tiene por finalidad acercar su valor lo más posible a 1.

### **1.6.5.5. Etapa de filtrado**

Esta etapa consiste en la colocación de un condensador electrolítico de alta tensión a la salida del rectificador o de la etapa de corrección del factor de potencia, para aplanar las pulsaciones de la tensión continua.

### **1.6.5.6. Etapa de oscilación y control**

La etapa de oscilación y control tiene los siguientes fines:

1. Controlar los tiempos de pre caldeo, ignición, etc.
2. Regular y excitar la etapa de salida.
3. Corregir las posibles situaciones anormales tales como la lámpara fundida, sobre tensiones, cortocircuitos, etc.

#### **1.6.5.7. Etapa de pre-caldeo**

Realiza un calentamiento de electrodos, previo al encendido, esto favorece y aumenta la duración de los electrodos y por tanto la lámpara.

El pre-caldeo es especialmente importante en aquellas aplicaciones que requieren un elevado número de encendidos diarios.

#### **1.6.5.8. Etapa de salida**

Esta etapa es la encargada de generar la onda cuadrada de tensión y alta frecuencia que, a través de una reactancia con núcleo de ferrita, se aplica a las lámparas.

### **1.6.6. Tipos de interferencias**

Las interferencias pueden dividirse en:

- a. La interferencia conducida introducida a través de los cables de red.
- b. Interferencia radiada: la emitida al entorno.

#### **1.6.6.1. Interferencia conducida**

- a. Distorsión armónica y una parte de las conducidas son generalmente por el propio funcionamiento interno del balastro.

b. Interferencia conducida (RFI) son producidas por las capacidades parásitas que existen entre:

- Los cables de la lámpara y los de la red
- Los cables de la lámpara y la luminaria
- La lámpara y tierra

#### **1.6.6.2. Interferencia radiada**

a. Campo magnético (RFI): es producida principalmente por la lámpara y su cableado con el balastro.

b. Campo eléctrico (RFI): debido a los armónicos del voltaje de la lámpara, ésta radia un campo eléctrico.

Se denominan Interferencias de Radio Frecuencia (RFI) a los campos electromagnéticos que pueden perturbar la radio y la televisión.

#### **1.6.7. Índice de eficiencia energética**

La directiva de eficiencia energética 2000/55/CE tiene como objeto la reducción de la energía consumida por los sistemas de iluminación fluorescentes, por medio de un cambio progresivo de los menos eficientes, hacia los más eficientes.

Como consecuencia CELMA (Confederación Europea de Asociaciones de Fabricantes de Luminarias) ha desarrollado un sistema de clasificación de las reactancias de fluorescencia, según la potencia total absorbida por el conjunto balastro-lámpara.

### 1.6.7.1. Índice de eficiencia energética (EEI)

En esta clasificación se han establecido siete índices de eficiencia energética en función de la potencia total absorbida por el conjunto balasto-lámpara.

Empezando por el de más alta eficiencia son:

Figura 6. Índice de eficiencia energética

<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Balastos electrónicos regulables (dimmables)	Balastos electrónicos con pérdidas reducidas.	Balastos electrónicos.	Balastos magnéticos con muy bajas pérdidas.	Balastos magnéticos con bajas pérdidas.	Balastos magnéticos con pérdidas moderadas.	Balastos magnéticos con muy altas pérdidas.

Fuente: Especialidades en Luminotecnia. **Dossier técnico**. Pág. 47.

Estos índices no tienen una correlación directa con la tecnología empleada en los balastos y están referidos a un factor BLF (factor de luminosidad del balastro).

### 1.6.7.2. Factor de luminosidad de balastro (BLF)

Es la relación entre el flujo luminoso emitido por la lámpara cuando funciona con el balastro objeto del ensayo, y el emitido por la misma lámpara funcionando con un balastro de referencia apropiado, estando ambos alimentados a su tensión y frecuencias asignadas.

Se ha establecido que el BLF sea uno para los balastos electrónicos y 0.95 para los balastos magnéticos.

Esta clasificación se aplicará a los balastos de las fuentes de alumbrado fluorescentes alimentados a través de la red eléctrica, tal y como se definen en la Norma Europea EN 50294, el 31 de diciembre de 1998, apartado 3.4.

Estarán excluidos de la aplicación de las siguientes clases de balastos:

- a. Los integrados en lámparas.
- b. Los que, estando destinados específicamente a luminarias que han de instalarse en muebles, constituyen una parte no sustituible de la luminaria que no puede someterse a ensayo independientemente de ésta.
- c. Los destinados a la exportación fuera de la comunidad europea, ya sea como piezas separadas o como partes de una luminaria.

#### **1.6.7.3. Mercado**

El mercado del índice de eficiencia energética no es obligatorio. En caso, de hacerlo se debe indicar sobre el balastro y utilizar la abreviatura EEI seguida de la clase correspondiente.

Aunque el mercado no sea obligatorio, la directiva de eficiencia energética 2000/55/CE es de obligado cumplimiento y es requisito necesarios que se debe cumplir para el mercado CE sobre el producto.

Figura 7. Tipos de etiquetas de eficiencia energética



Fuente: Instituto Argentino de normalización y certificación. **Etiquetado de eficiencia energética.** Pág. 2.

La potencia total absorbida por el conjunto balastro-lámpara debe medirse según lo descrito en la norma europea EN 50294.

Con el valor de la potencia total absorbida y las tablas para la clasificación del conjunto balastro-lámpara se obtiene el índice de eficiencia energética correspondiente.

### 1.6.8. Normas de fabricación de balastos magnéticos

Las normas según las cuales están fabricados los balastos magnéticos para lámparas fluorescentes son:

- a. EN 61347-1 aparatos auxiliares para lámparas. Parte 1: requisitos generales y de seguridad.

- b. EN 61347-2-8(EN 60920) Prescripciones particulares para balastos para lámparas fluorescentes.
- c. EN 60921 Balastos para lámparas fluorescentes tubulares. Prescripciones de funcionamiento.
- d. ANSIC 82-1 Especificaciones para lámparas fluorescentes.
- e. ANSIC78 Características físicas y eléctricas para lámparas fluorescentes.
- f. EN 60081 Lámparas tubulares fluorescentes para iluminación general.
- g. EN 60901 Lámparas fluorescentes de casquillo único. Prescripciones de seguridad y funcionamiento.
- h. EN 55015 Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares.
- i. EN 61000-3-2 Compatibilidad electromagnética (CEM).
- j. Parte 3: Límites. Sección 2: Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada menor o igual que 16 A por fase).
- k. EN 61547 Equipos para alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad – CEM.
- l. EN 50294 Método de medida de la potencia total de entrada de los circuitos balastro-lámpara.

Los ensayos para el cumplimiento con las normativas aplicables de emisión de radio-interferencias, armónicos e inmunidad, deben ser realizados al conjunto formado por reactancia, lámpara, luminaria y cableado.

### **1.6.9 Normas de fabricación para balastros electrónicos**

Las normas según las cuales se fabrican los balastros electrónicos para lámparas fluorescentes son:

EN 61347-1 Aparatos auxiliares para lámparas. Parte 1: requisitos generales y de seguridad.

EN 61347-2-3 Requisitos particulares para balastros eléctricos alimentados en corriente alterna para lámparas fluorescentes.

EN 60929 Balastros electrónicos alimentados en corriente alterna para lámparas fluorescentes tubulares. Prescripciones de funcionamiento.

EN 60081 Lámparas tubulares fluorescentes para iluminación general.

EN 60901 Lámparas fluorescentes de casquillo único. Prescripciones de seguridad y funcionamiento.

EN 55015 Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares.

EN 61000-3-2 Compatibilidad electromagnética (CEM).

Parte 3: límites.

Sección 2: Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada menor o igual que 16 A por fase).

EN 61547 Equipos para alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad – CEM.



## 2. LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS CFL

La lámpara compacta fluorescente o CFL (sigla del inglés *compact fluorescent lamp*) es un tipo de lámpara fluorescente que se puede usar con casquillos de rosca Edison normal (E27) o pequeña (E14). También se la conoce como:

Lámpara ahorradora de energía

Lámpara de luz fría

Lámpara de bajo consumo

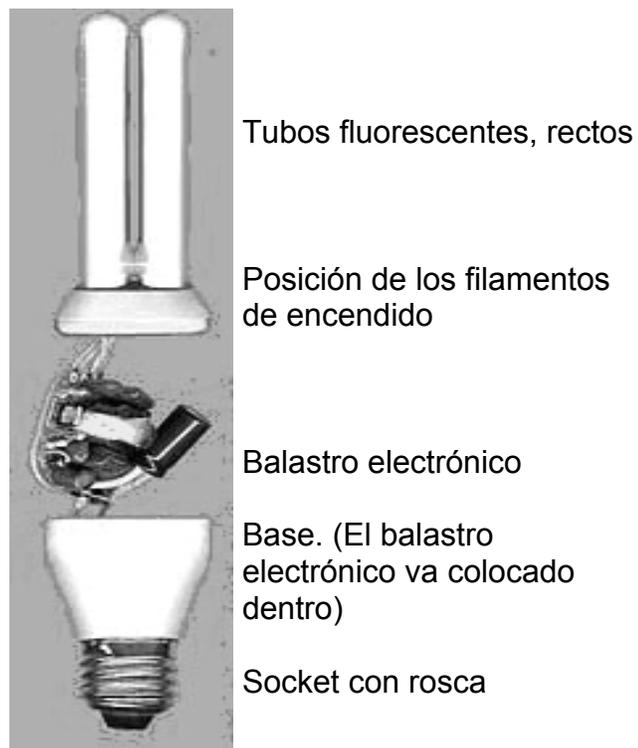
Bombilla de bajo consumo

En comparación con las lámparas incandescentes, las CFL tienen una vida útil mayor y consumen menos energía eléctrica para producir la misma iluminación. De hecho, las lámparas CFL ayudan a ahorrar costos en facturas de electricidad, en compensación a su alto precio dentro de las primeras 500 horas de uso

## 2.1. Partes de una lámpara fluorescente compacta CFL

Las lámparas fluorescentes CFL constan de las siguientes partes:

Figura 8. Partes de una lámpara CFL

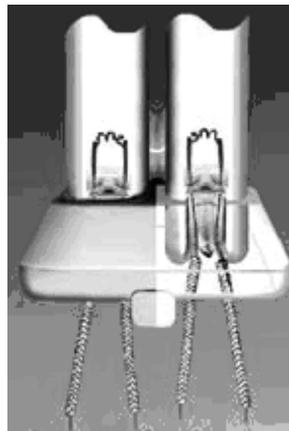


Fuente: Así funciona lámpara CFL. Pág. 3.

### 2.1.1. Tubo fluorescente

En todas las lámparas fluorescentes compactas CFL existen siempre dos filamentos de tungsteno o wolframio (W) alojados en los extremos libres del tubo con el propósito de calentar los gases inertes, como el neón (Ne), el kriptón (Kr) o el argón (Ar), que se encuentran alojados en su interior. Junto con los gases inertes, el tubo también contiene vapor de mercurio (Hg). Las paredes del tubo se encuentran recubiertas por dentro con una fina capa de fósforo.

Figura 9. **Filamentos colocados dentro de los tubos de una lámpara fluorescente compacta CFL.**



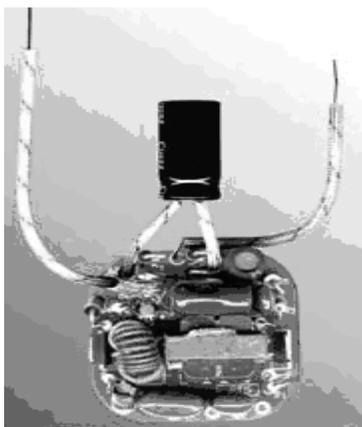
Fuente: Así funciona lámpara CFL. Pág. 3.

### 2.1.2. Balastro electrónico

Las lámparas fluorescentes compactas CFL, son de encendido rápido, por tanto no requieren starter para encender el filamento, sino que emplean un balastro electrónico en miniatura, encerrado en la base que separa la rosca del tubo de la lámpara. Ese balastro suministra la tensión o voltaje necesario para encender el tubo de la lámpara y regular, posteriormente, la intensidad de corriente que circula por dentro del propio tubo después de encendido.

El balastro electrónico se compone, fundamentalmente, de un circuito rectificador diodo de onda completa y un oscilador, encargado de elevar la frecuencia de la corriente de trabajo de la lámpara entre 20,000 y 60 000 hertz aproximadamente, en lugar de los 60 hertz con los que operan los balastos magnéticos e híbridos que emplean los tubos rectos y circulares de las lámparas fluorescentes comunes antiguas.

Figura 10. **Balastro electrónico de una lámpara fluorescente compacta CFL**



Fuente: Así funciona lámpara CFL. Pág. 4.

### **2.1.3. Base**

La base de las lámparas ahorradoras CFL se compone de un receptáculo de material plástico, en cuyo interior hueco se aloja el balastro electrónico. Unido a la base se encuentra un socket con rosca normal E-27 (conocida también como rosca Edison), la misma que utilizan la mayoría de las bombillas o lámparas incandescentes. Se pueden encontrar también lámparas fluorescentes compactas CFL con rosca E-14 de menor diámetro (conocida como rosca candelabro). Existen variantes con otros tipos de conectores, de presión o bayoneta, en lugar de socket con rosca, que funcionan con un balastro electrónico externo, que no forma parte del cuerpo la lámpara.

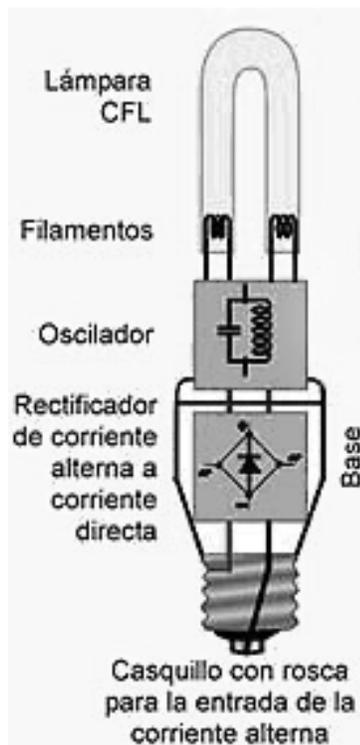
## **2.2. Funcionamiento de lámparas fluorescentes compactas CFL**

El funcionamiento de una lámpara fluorescente ahorradora de energía CFL es el mismo que el de un tubo fluorescente común, excepto que es mucho más pequeña y manuable.

Cuando se enrosca la lámpara fluorescente compacta CFL en un plafonero (igual al que utilizan la mayoría de las lámparas incandescentes) y se acciona el interruptor de encendido, la corriente eléctrica alterna fluye hacia el balastro electrónico, donde un rectificador diodo de onda completa se encarga de convertirla en corriente directa y mejorar, a su vez, el factor de potencia de la lámpara. A continuación un circuito oscilador, compuesto fundamentalmente por un circuito transistorizado en función de amplificador de corriente, un enrollado o transformador (reactancia inductiva) y un capacitor o condensador (reactancia capacitiva), se encarga de originar una corriente alterna con una frecuencia, que llega a alcanzar entre 20 mil y 60 mil ciclos o hertz por segundo.

La función de esa frecuencia tan elevada es disminuir el parpadeo que provoca el arco eléctrico que se crea dentro de las lámparas fluorescentes cuando se encuentran encendidas. De esa forma se anula el efecto estroboscópico que normalmente se crea en las antiguas lámparas fluorescentes de tubo recto que funcionan con balastos magnéticos. En las lámparas fluorescentes antiguas el arco que se origina posee una frecuencia de solo 60 hertz, la misma que le proporciona la red.

Figura 11. **Diagrama de bloques de una lámpara fluorescente compacta CFL**



Fuente: Así funciona lámpara CFL. Pág. 5.

Para el alumbrado general, el efecto estroboscópico es prácticamente imperceptible, pero en una industria donde existe maquinaria funcionando, impulsadas por motores eléctricos, puede resultar peligroso debido a que la frecuencia del parpadeo de la lámpara fluorescente se puede sincronizar con la velocidad de giro de las partes móviles de las máquinas, creando la ilusión óptica de que no están funcionando, cuando en realidad se están moviendo.

En las lámparas fluorescentes compactas CFL no se manifiesta ese fenómeno, pues al ser más alta la frecuencia del parpadeo del arco eléctrico en comparación con la velocidad de giro de los motores, nunca llegan a sincronizarse ni a crear efecto estroboscópico.

Desde el mismo momento en que los filamentos de una lámpara fluorescente compacta CFL se encienden, el calor que producen ioniza el gas inerte que contiene el tubo en su interior, creando un puente de plasma entre los dos filamentos. A través de ese puente se origina un flujo de electrones, que proporcionan las condiciones necesarias para que el balastro electrónico genere una chispa y se encienda un arco eléctrico entre los dos filamentos. En este punto del proceso los filamentos se apagan y se convierten en dos electrodos, cuya misión será la de mantener el arco eléctrico durante todo el tiempo que permanezca encendida la lámpara.

El arco eléctrico no es precisamente el que produce directamente la luz en estas lámparas, pero su existencia es fundamental para que se produzca ese fenómeno.

A partir de que los filamentos de la lámpara se apagan, la única misión del arco eléctrico será continuar y mantener el proceso de ionización del gas inerte.

De esa forma los iones desprendidos del gas inerte al chocar contra los átomos del vapor de mercurio contenido también dentro de tubo, provocan que los electrones del mercurio se exciten y comiencen a emitir fotones de luz ultravioleta. Dichos fotones, cuya luz no es visible para el ojo humano, al salir despedidos chocan contra las paredes de cristal del tubo recubierto con la capa fluorescente. Este choque de fotones ultravioletas contra la capa fluorescente provoca que los átomos de flúor se exciten también y emitan fotones de luz blanca, que sí son visibles para el ojo humano, haciendo que la lámpara se encienda.

### **2.3. Características de las lámparas fluorescentes compactas CFL**

1. Son compatibles con “sockets” de las lámparas incandescentes de uso común.
2. Al igual que las lámparas incandescentes, sólo hay que enroscarlas en el plafonero, pues no requieren de ningún otro dispositivo adicional para funcionar.
3. Disponibles en tonalidades “luz de día” (*day light*) y “luz fría” (*cool light*), sin que introduzcan distorsión en la percepción de los colores.
4. Encendido inmediato tan pronto se acciona el interruptor, pero con una luz débil por breves instantes antes que alcancen su máxima intensidad de iluminación.
5. Precio de venta al público mayor que el de una lámpara incandescente de igual potencia, pero que se compensa después con el ahorro que se obtiene por menor consumo eléctrico y por un tiempo de vida útil más prolongado.

#### **2.4. Ventajas de las lámparas fluorescentes compactas CFL comparadas con las incandescentes**

1. Ahorro en el consumo eléctrico. Consumen sólo la 1/5 parte de la energía eléctrica que requiere una lámpara incandescente para alcanzar el mismo nivel de iluminación, es decir, consumen un 80% menos para igual eficacia en lúmenes por watt de consumo (lm-W).
2. Tiempo de vida útil aproximado entre 8000 y 10000 horas, en comparación con las 1,000 horas que ofrecen las lámparas incandescentes.
3. No requieren inversión en mantenimiento.
4. Generan 80% menos calor que las incandescentes, es prácticamente nulo el riesgo de provocar incendios por calentamiento, si por cualquier motivo llegaran a encontrarse muy cerca de materiales combustibles.
5. Un flujo luminoso mucho mayor en lúmenes por watt (lm-W) comparadas con una lámpara incandescente de igual potencia.
6. Se pueden adquirir con diferentes formas, bases, tamaños, potencias y tonalidades de blanco.



### **3. ARMÓNICOS**

En sistemas eléctricos de distribución de potencia se espera que la forma de onda de voltaje suministrada por una empresa eléctrica sea senoidal y sobre esa base se han diseñado la mayoría de elementos del sistema. El crecimiento continuo de los sistemas eléctricos de distribución de potencia y la inclusión de un mayor número de elementos no lineales, como los equipos electrónicos y muy especialmente los convertidores, han contribuido al incremento de la presencia de distorsiones de voltaje.

#### **3.1. Se entiende por calidad de la potencia**

Potencia es mucho más que la derivada de la energía con respecto al tiempo. La medición y análisis de la función de la potencia son de gran importancia tanto para el proveedor de energía eléctrica como para el usuario.

El proveedor de electricidad entiende esto como la carga de penalidades para altas demandas, pésimos factores de potencia y algunas veces distorsión en la forma de onda. Actualmente en Guatemala no se penaliza por distorsiones armónicas.

En lo fundamental, el voltaje ideal es una senoide de amplitud y frecuencia constante. Sin embargo, en la práctica esta situación no existe, se necesita de la capacidad de medir y calcular, predecir y comparar la imperfección de varios sistemas y establecer límites aceptables en varias aplicaciones.

## **3.2 Distorsiones de la forma de onda**

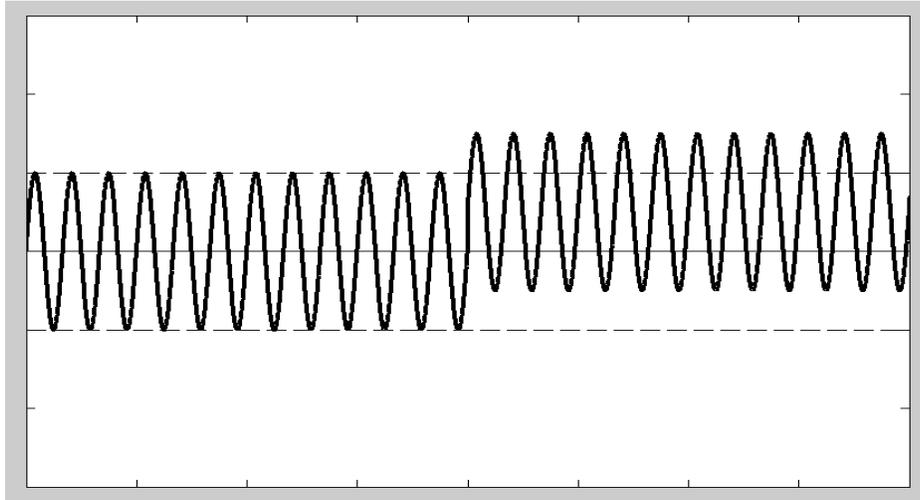
Las distorsiones de la forma de onda se definen como una desviación del estado estable desde una forma de onda perfectamente sinusoidal de la frecuencia del sistema caracterizado por el contenido espectral de la desviación. A continuación se presentan cinco tipos primarios de distorsión de la forma de onda.

1. Variación de voltaje continuo (DC Offset)
2. Armónicas (*Harmonics*)
3. Interarmónicas (*Interharmonics*)
4. *Notching*
5. Ruido (*Noise*)

### **3.2.1. Variación de voltaje continuo (DC Offset)**

La presencia de voltaje de corriente directa en la línea puede ser el resultante de perturbaciones geomagnéticas o por efecto de las medias ondas en los sistemas de rectificación. La CD en un sistema de energía alterna puede ser perjudicial en los núcleos de los transformadores, ya que pueden llevar a la saturación en la operación normal. Esto causa adicionalmente calentamiento y disminución en la vida de un transformador. La corriente directa puede causar deterioro electrolítico en los electrodos y conectores de las puestas a tierra.

Figura 12. **Distorsión de onda DC offset**



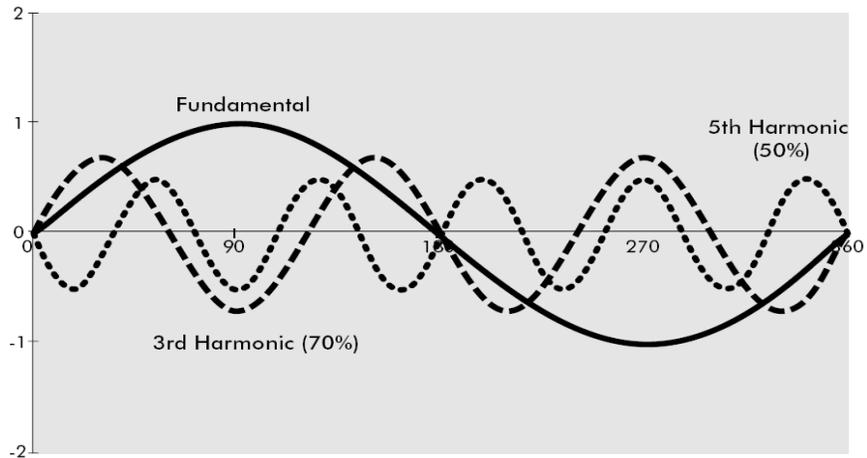
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad autónoma de Honduras  
**Introducción a la calidad del Servicio Eléctrico**, pág. 23.

### **3.2.2. Armónicos**

Son voltajes o corrientes sinusoidales que tienen frecuencia múltiple a la fundamental, esta se originan en cargas no lineales en un sistema de potencia.

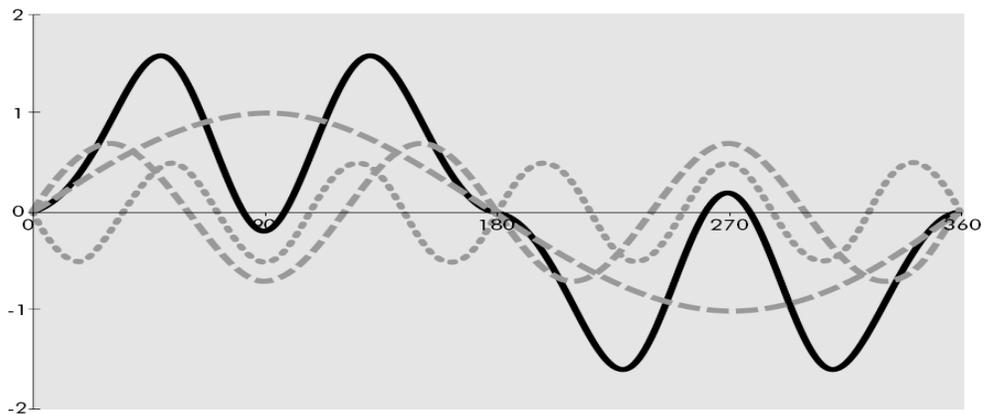
Las distorsiones de armónicas tienen un completo espectro con magnitudes y ángulos de fase de cada componente individual de cada armónica.

Figura 13. **Fundamental con tercero y quinto armónico.**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad Autónoma de Honduras  
**Introducción a la calidad del servicio eléctrico, Pág. 24.**

Figura 14. **Forma de onda distorsionada.**



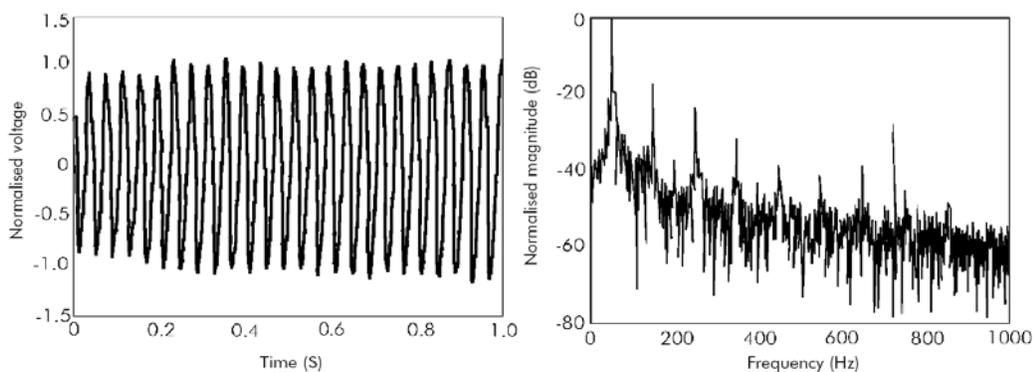
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad autónoma de Honduras  
**Introducción a la calidad del Servicio Eléctrico, Pág. 24.**

### 3.2.3. Inter armónica

Son componentes de frecuencias de voltaje y corriente que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. La principal fuente de producción de inter - armónicos son los convertidores de frecuencia estáticos, ciclo convertidores, motores de inducción. No hay un registro sobre los efectos de las inter-armónicas, sin embargo se piensa que afectan a los sistemas de energía llevando señales e inducen *flicker* visibles en los circuitos.

Los inter armónicos pueden aparecer como frecuencias discretas o como un espectro completo de frecuencias.

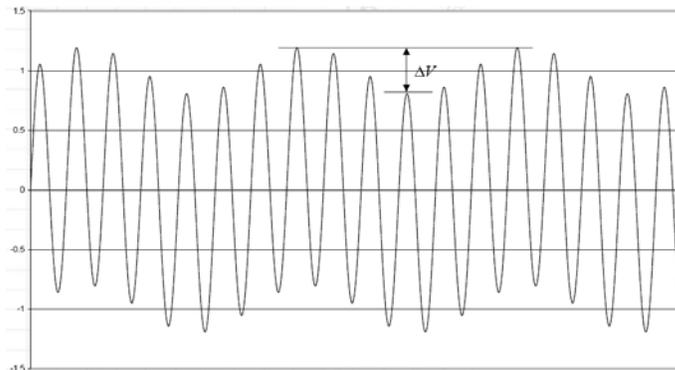
Figura 15. Horno de arco



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad autónoma de Honduras  
**Introducción a la calidad del servicio eléctrico, Pág. 32.**

El parpadeo o *flicker* es la respuesta del sistema de iluminación observado por el ojo humano.

Figura 16. **Variaciones rápidas de tensión (parpadeo o flicker)**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad autónoma de Honduras

**Introducción a la calidad del Servicio Eléctrico**, Pág. 32.

### 3.2.4. Notching

Es una perturbación periódica de voltaje causada por la operación normal de circuitos de electrónica de potencia cuando la corriente es conmutada desde una fase a otra. Algunos *notching* ocurren continuamente y pueden caracterizarse a través de un espectro armónico que afecta al voltaje, sin embargo es a menudo tratado como un caso especial. Durante este período ocurre un momentáneo cortocircuito entre las dos fases llevando el voltaje a cero tanto como la impedancia del sistema lo permite.

### **3.2.5. Noise (ruido)**

El ruido se define como señales eléctricas inesperadas dentro de un contenido espectral menor a 200 kHz. súper puestos a las ondas de corriente o voltaje en las fases conductoras en los conductores neutros o líneas de señal; este ruido puede ser causado por circuitos de control, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes de energía conmutada o conmutable. Los problemas de ruido pueden a menudo ser excitados por instalaciones inapropiadas de puesta a tierra. Básicamente, el ruido consiste en cualquier distorsión insoportable de la señal de potencia que no puede ser clasificada como distorsión de armónica o transiente.

### **3.3. Fluctuaciones de voltaje**

Las fluctuaciones de voltajes son variaciones y sistemáticas del voltaje sobre una serie de cambios inesperados de este, y magnitudes que no exceden normalmente los rangos especificados con ANSI C84.1 DE 0.9PU A 1.1 PU.

### **3.4. Armónicos**

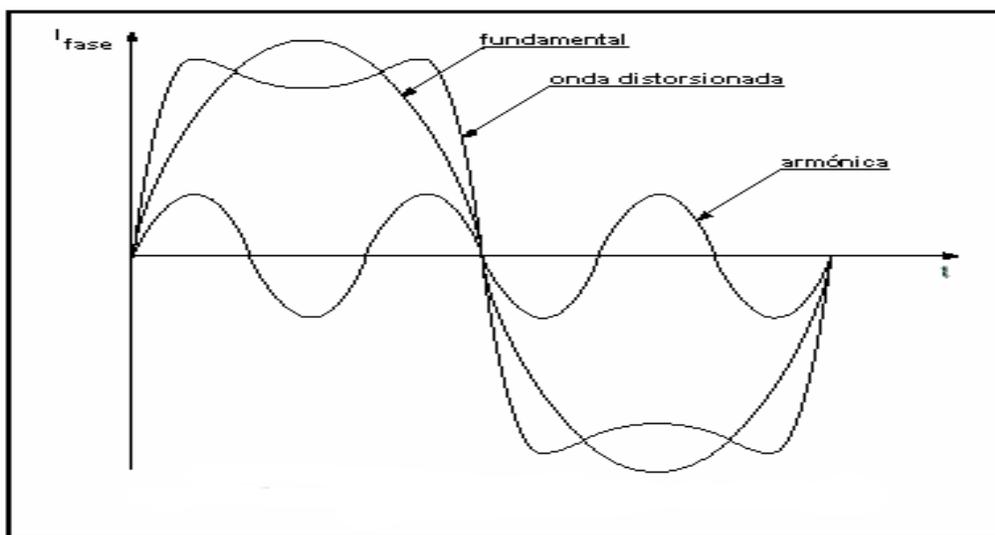
En sistemas eléctricos se denomina armónicos a las ondas de voltaje o corriente cuya frecuencia será mayor a la frecuencia fundamental de la red (en este caso 60 Hz).

Por lo general se presentan varias ondas de diferentes órdenes armónicos, a la vez, constituye un espectro y da una onda totalmente distorsionada como resultado. Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, estos son:

- a. Su amplitud: hace referencia al valor de la tensión o de la intensidad del armónico. La amplitud de una armónica es generalmente un pequeño porcentaje de la fundamental.
- b. Su orden: hace referencia al valor de su frecuencia referida a la fundamental.

Así, un armónico de orden 3 tiene una frecuencia tres veces superior a la fundamental, es decir, en este caso  $3 \times 60\text{hz}$  es igual a  $180\text{hz}$ . El espectro es la distribución de la amplitud de varias armónicas como una función del número de la armónica.

Figura 17. **Forma de ondas**



Fuente: Fundamentos teóricos sobre armónicas. **Pág. 5.**

En 1812, el matemático Joseph Fourier desarrolló las series para funciones periódicas, donde las armónicas se definen como señales periódicas con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. Cualquier fenómeno periódico puede ser representado por una serie de Fourier como la que sigue:

$$f(t) = a_0 + C_1 \text{sen}(wt + \beta_1) + C_2 \text{sen}(2wt + \beta_2) + C_3 \text{sen}(3wt + \beta_3) + \dots + C_h \text{sen}(hwt + \beta_h) \quad \text{ec (1-1)}$$

$$f(t) = a_0 + C_1 \cos(wt + \gamma_1) + C_2 \cos(2wt + \gamma_2) + C_3 \cos(wt + \gamma_3) + \dots + C_h \cos(hwt + \gamma_h) \quad \text{ec (1-2)}$$

**Siendo:**

$$\gamma_h = \beta_h - 90^\circ \quad \text{ec (1-3)}$$

Tanto en la ecuación 1-1, 1-2, el primer término representa la componente de corriente continua o valor medio, el segundo término corresponde a la componente fundamental, el tercer término de frecuencia  $2w$  es la segunda armónica, el término de la frecuencia  $3w$  es la tercera armónica, etc. El término de frecuencia  $hw$  es la h-esima armónica.

$a_0$  Es constante y constituye el valor medio de la función  $f(t)$ . En el análisis de circuitos eléctricos  $a_0$  es la componente de corriente continua de la función.

$C_h$  Es la amplitud de h-esima armónica

$\beta_h$  Es el ángulo de fase de la h-esima

### 3.5 Distorsión armónica total

Para definir el grado de distorsión que tiene una señal se utilizan coeficientes de distorsión armónica dados en porcentaje de cantidades eléctricas.

$THD_I$  Para la corriente:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} * 100 \quad \text{ec (1-4)}$$

Donde:  $I_1$  Es el valor eficaz de la componente fundamental de corriente.

$I_h$  Es el valor eficaz de la componente armónica de orden h.

También se define el factor de distorsión armónica individual de corriente, así.

$$ID_h = \frac{I_h}{I_1} \quad \text{ec (1-5)}$$

$THD_V$  Para el voltaje

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} * 100 \quad \text{ec (1-6)}$$

Donde:  $V_1$  Es el valor eficaz de la componente fundamental de voltaje.

$V_h$  Es el valor eficaz de la componente armónica de orden h.

También se define el factor de distorsión armónica individual de voltaje, así.

$$VD_h = \frac{V_h}{V_1} \quad \text{ec(1-7)}$$

### 3.6 Potencias

#### 3.6.1. La potencia instantánea está dada por

$$v(t) = V_{\max} \text{sen}(wt + \gamma)$$

$$p = v(t)i(t) \quad \text{Donde} \quad i(t) = I_{\max} \text{sen}(wt + \beta)$$

$$\phi = \gamma - \beta$$

$$p = V_{\max} \text{sen}(wt + \gamma) I_{\max} \text{sen}(wt + \beta)$$

$$p = V_{\max} I_{\max} \text{sen}(wt + \gamma) \text{sen}(wt + \beta)$$

$$p = V_{ef} I_{ef} \{ \cos\phi [1 - \cos(2wt + 2\beta)] + \text{sen}\phi [\text{sen}(2wt + 2\beta)] \} \quad \text{ec (1-8)}$$

$$\left. \begin{matrix} I_{ef} \\ V_{ef} \end{matrix} \right\} \quad \text{Donde: } I_{ef}, V_{ef} \text{ son valores eficaces}$$

El término  $V_{ef} I_{ef} \{ \cos\phi [1 - \cos(2wt + 2\beta)] \}$  representa una potencia que siempre tiene valores positivos y varía en función del  $\cos(2wt)$ , a una frecuencia de valor igual al doble de la frecuencia de la corriente o del voltaje; interpretándose, por lo tanto, como una potencia que fluye de la fuente a la carga.

Esta es la potencia que en una resistencia se disipa en forma de calor o se convierte de eléctrica a otra de energía. El valor medio de esta potencia o potencia media es:

$$p = V_{ef} I_{ef} \cos \phi \quad \text{ec (1-9)}$$

y recibe el nombre de potencia activa. Su unidad de medida es el vatio, cuyo símbolo es la letra W.

El  $\cos \phi$  recibe el nombre de factor de potencia,  $fp$  e indica que efectivamente una carga está aprovechando la potencia que le es suministrada desde la fuente de alimentación.

El término  $V_{ef} I_{ef} \{ \sin \phi [\sin(2\omega t + 2\beta)] \}$  representa una potencia que varía en función de  $\sin(2\omega t)$  a una frecuencia de valor de igual al doble de la frecuencia de la corriente o el voltaje, y es debida a la interacción entre el voltaje con la componente de la corriente que se encuentra  $90^\circ$  recibe el nombre de corriente activa o componente reactiva de la corriente.

Su gráfica es simétrica con respecto al eje horizontal y su valor medio es cero, interpretándose, por lo tanto como energía que durante el primer cuarto de ciclo de corriente fluye de la fuente a la carga y durante el segundo cuarto del ciclo de la corriente fluye de la carga al fuente, repitiéndose este proceso en forma periódica mientras el circuito permanezca excitado.

Se presenta el caso de un circuito RL : mientras la corriente aumenta desde cero hasta su valor máximo, aparece y aumenta el campo magnético en la inductancia en la cual se almacena la energía que es enviada desde la fuente; al alcanzar su valor máximo, la corriente empieza a disminuir hasta alcanzar un nuevo valor cero, disminuyendo también el campo magnético hasta alcanzar su valor cero, devolviendo la energía almacenada a la fuente. Esta energía almacenada a la fuente. Esta energía que no se convierte de eléctrica a otra forma de energía, pero es inherente a las inductancia y las capacitancias y el proceso periódico de “llevarla a la carga” y luego devolverla a la fuente tiene sus costos. Esta energía, por unidad e tiempo, se conoce con el nombre de POTENCIA REACTIVA ( $Q$ ), se mide en voltios amperios reactivos ( $VA_r$ ) y puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$Q = V_{ef} I_{ef} \text{sen}\phi \quad \text{ec (1-10)}$$

Se puede observar, entonces que en régimen senoidal, la fuente genera dos tipos de potencia: la potencia  $P$  que se convierte en trabajo útil y la potencia reactiva  $Q$  que, aunque sea necesaria para la formación de los campos magnéticos o eléctricos, no se convierte en trabajo útil. En este sentido, lo deseable sería que toda la potencia producida por la fuente se convierta en trabajo útil. Para lo cual el coseno del ángulo debería ser igual a uno dado que los valores diferentes de los cables o líneas se “sobrecargan” debido a que, además de transportar la potencia activa, debe también transportar la potencia reactiva.

La potencia total producida por la fuente debe satisfacer la demanda de potencia activa y la demanda reactiva, conociéndose dicha potencia con el nombre de potencia aparente. Esta potencia que se mide en voltios amperios (VA), es aquella potencia activa que se tendría si toda la potencia producida por la fuente se convirtiera en trabajo útil y es igual al producto del valor eficaz de la corriente por valor eficaz del voltaje en la carga:

$$S = V_{ef} I_{ef} \quad \text{ec (1-11)}$$

Por otro lado, si la impedancia  $Z$  representa una carga predominante inductiva, en su forma rectangular puede expresarse como  $Z = R + jX$ , y si, además, el voltaje y la corriente en la impedancia, se expresa en su forma fasorial, la potencia total o aparente, entregada a la carga será:

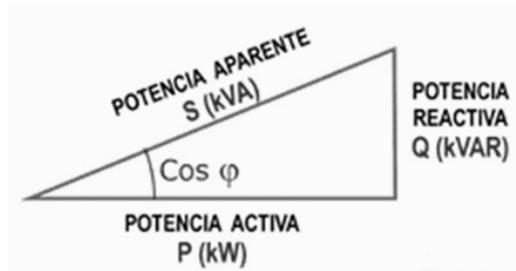
$$S = (I_{ef})^2 R + (I_{ef})^2 jX$$

Donde la potencia en la resistencia  $I^2 R$  es la potencia activa  $P$  y la potencia que representa la energía almacenada en la inductancia  $I^2 X$  es la potencia reactiva  $Q$ . De modo que la potencia aparente expresada como una potencia compleja es:

$$S = P + jQ$$

Una resistencia, el voltaje y la corriente se encuentran en fase, en tanto que una inductancia el voltaje se adelanta  $90^\circ$  con respecto a la corriente. La expresión anterior de la potencia aparente indica que la misma es igual a la suma vectorial de la potencia activa y potencia reactiva; y que las tres potencias constituyen los lados de un triángulo llamado triángulo de potencias, como el que se muestra en la siguiente figura.

Figura 18. **Triángulo de potencias**



Fuente: Así funciona lámpara CFL. Pág. 7.

Como se mencionó anteriormente,  $\phi$ , el ángulo de desfase entre la corriente y voltaje, se encuentra determinado por la relación existente entre la parte imaginaria y en la parte real de la impedancia. En este sentido, el ángulo  $\phi$  y el factor de potencia están dados por las siguientes expresiones:

$$\phi = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{X}{R}\right) = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{I^2 X}{I^2 R}\right) = \operatorname{tg}^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)$$

Donde:

$$f_{ps} = \cos \phi = \frac{P}{S}$$

ec (1-12)

Incluyéndose el índice  $s$  para indicar que se trata del factor de potencia del caso en que tanto la corriente como el voltaje son senoidales, sin los efectos de la distorsión. Este factor de potencias es llamada factor de potencia de desplazamiento.

El valor en VA de la potencia aparente, estará determinado por la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(V_{ef} I_{ef} \cos \phi)^2 + (V_{ef} I_{ef} \sen \phi)^2} = V_{ef} I_{ef} \quad VA$$

### 3.6.2. Carga lineal alimentada con voltaje no senoidal

A una carga lineal, aplicamos una forma de onda de voltaje cuya serie de Fourier, considerando que carece de componente de corriente continua, es la siguiente:

$$v(t) = V_1 \sen(\omega t + \gamma_1) + V_2 \sen(2\omega t + \gamma_2) + V_3 \sen(3\omega t + \gamma_3) + \dots + V_h \sen(h\omega t + \gamma_h)$$

Este voltaje origina una forma de onda de la corriente expresada como sigue:

$$i(t) = I_1 \sen(\omega t + \beta_1) + I_2 \sen(2\omega t + \beta_2) + I_3 \sen(3\omega t + \beta_3) + \dots + I_h \sen(h\omega t + \beta_h)$$

En las cuales  $V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_h$  e  $I_1, I_2, I_3, I_4, \dots, I_h$  son los valores máximos correspondientes al componente fundamental y armónicas.

$\gamma_h$  y  $\beta_h$  son los ángulos de fase de las h-ésimas armónicas de voltajes y de corriente, respectivamente.

La potencia instantánea en la carga, es igual al producto del voltaje instantáneo por la corriente instantánea, de tal manera que dicha potencia será:

$$p = v(t)i(t)$$

Sustituyendo la ecuación anterior, las series de Fourier correspondientes se tiene que:

$$p = \left( \sum_{h=1}^{\infty} V_h \text{sen}(h\omega t + \gamma_h) \right) \left( \sum_{h=1}^{\infty} I_h \text{sen}(h\omega t + \beta_h) \right)$$

O bien

$$p = \sum_{h=1}^{\infty} V_h I_h \text{sen}(h\omega t + \gamma_h) \text{sen}(h\omega t + \beta_h) + \sum (\text{productos\_cruzados}) \quad \text{ec (1-13)}$$

El segundo término de la ecuación anterior representa la suma de todos los productos cruzados de componentes armónicos de voltajes y de corriente de frecuencias diferentes.

Sin considerar los productos cruzados, la potencia instantánea es:

$$p = \sum_{h=1}^{\infty} \frac{V_h I_h}{2} \left\{ \cos \phi_h \left[ 1 - \cos(2h\omega t + 2\beta_h) \right] + \text{sen} \phi_h \left[ \text{sen}(2h\omega t + 2\beta_h) \right] \right\} \quad \text{ec (1-13 a)}$$

Donde  $\phi_h = \gamma_h - \beta_h$

Es el ángulo correspondiente a la impedancia equivalente del circuito a la frecuencia  $hf$ , o sea, el ángulo de desfase entre las armónicas de voltaje y de corriente de las misma frecuencia.

Ahora bien, la potencia media entregada a la carga está dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t)dt$$

Sustituyendo se tiene:

$$P = \frac{V_1 I_1}{2} \cos(\gamma_1 - \beta_1) + \frac{V_2 I_2}{2} \cos(\gamma_2 - \beta_2) + \frac{V_3 I_3}{2} \cos(\gamma_3 - \beta_3) + \dots + \frac{V_k I_k}{2} \cos(\gamma_k - \beta_k) + \dots$$

$$+ \frac{V_h I_h}{2} \cos(\gamma_h - \beta_h)$$

Además, la potencia activa  $P$  puede expresarse en función de los valores eficaces, quedando la siguiente ecuación:

$$P = V_{ef1} I_{ef1} \cos \phi_1 + V_{ef2} I_{ef2} \cos \phi_2 + V_{ef3} I_{ef3} \cos \phi_3 + \dots + V_{efh} I_{efh} \cos \phi_h$$

$$P = \sum_{h=1}^h V_{efh} I_{efh} \cos \phi_h \tag{ec (1-14)}$$

Conforme a lo anterior, la potencia total es igual a la suma de las contribuciones de potencia activa de las componentes armónicas,

entendiéndose que cada componente de  $v(t)$  solo se produce potencia cuando se combina con la componente de  $i(t)$  de la misma frecuencia.

$$P = \sum_{h=1}^{\infty} \frac{V_h I_h}{2} \left\{ \text{sen } \phi_h \left[ \text{sen}(2h\omega t + 2\beta_h) \right] \right\}$$

Representa una potencia cuyo valor medio es igual a cero y por lo tanto, cada componente armónica de corriente multiplicada por la respectiva componente armónica de voltaje por el seno del ángulo de desfase entre ellas, contribuye en parte a la potencia reactiva total  $Q$  del sistema medida en VAR. De tal manera que:

$$Q = V_{ef1} I_{ef1} \text{sen } \phi_1 + V_{ef2} I_{ef2} \text{sen } \phi_2 + \dots + V_{efh} I_{efh} \text{sen } \phi_h$$

O bien

$$Q = \sum_{h=1}^h V_{efh} I_{efh} \text{sen } \phi_h \quad \text{ec (1-15)}$$

De acuerdo con las ecuaciones 1-14 y 1-15, la potencia total entregada a la carga tiene una componente de Potencia Activa,  $P$  y una componente de Potencia Reactiva  $Q$ . Pero además está la componente de potencia correspondiente a los productos cruzados de las componentes de corriente y voltaje de distinta frecuencia, cuyo valor medio es igual a cero, a la cual se llama potencia de distorsión  $D$ , considerada a  $90^\circ$  de la potencia activa  $P$  y a  $90^\circ$  de la potencia reactiva  $Q$ .

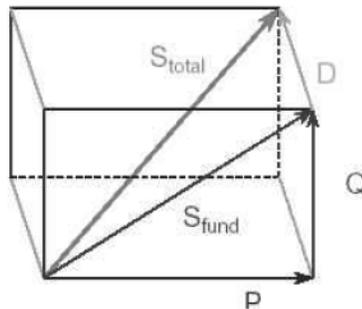
La potencia aparente,  $S$ , es igual, al producto del valor eficaz de la corriente el valor eficaz del voltaje,

$$S = V_{ef} I_{ef} = V_{ef1} I_{ef1} \sqrt{(1 + THD_V^2)(1 + THD_I^2)} \quad \text{ec (1-16)}$$

Y al tomar en cuenta las tres componentes de potencia, la potencia aparente o total es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la potencia activa reactiva y de distorsión, como a continuación se muestra:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad \text{ec (1-17)}$$

Figura 19. Triángulo de potencia de distorsión D



Fuente: IEB S. A. **Armónicos en sistemas eléctricos**. Pág. 20

En este caso, el factor de potencia, llamado factor de potencia verdadero,  $fp_v$ , se encuentra así:

$$fp_v = \frac{\sum_{h=1}^h V_{efh} I_{efh} \cos \phi_h}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \quad \text{ec (1-18)}$$

El factor de potencia verdadero está determinado por la combinación del factor de potencia de desplazamiento, definido como el coseno del ángulo de

desfase entre las componentes fundamentales de voltaje y de corriente, y la contribución de todas las componentes armónicas de voltaje y corriente.

En términos generales, el efecto de los armónicos sobre el factor de potencia es disminuirlo, ya que aumenta la potencia aparente total.

### 3.6.3. Carga conectada a una red de potencia infinita

En algunos casos donde se practican técnicas de control de armónicas el *VDF* puede considerarse de valor muy bajo ya no excede el 5%. En aquellos casos donde funcionan dispositivos de relativa baja potencia, en comparación a la potencia del sistema, a pesar de la presencia de una alta distorsión de la corriente, el voltaje sufre una distorsión insignificante y puede considerarse como exento de componentes armónicas.

Lo anterior significa que sólo la componente fundamental de la corriente contribuye al total de la potencia activa, en tanto que para la potencia aparente la corriente participa con sus componentes fundamental y armónicas, modificando el factor de potencia con respecto al que se tiene cuando tanto la corriente como voltaje poseen formas de onda senoidales puras. De tal manera que la potencia instantánea está dada por:

$$p = \{V_1 \text{sen}(wt)\} \left\{ \sum_{h=1}^{\infty} I_h \text{sen}(hwt - \phi_h) \right\}$$

$$p = \sum_{h=1}^{\infty} V_1 I_h \text{sen}(wt) [\text{sen}(hwt) \cos(\phi_h) - \cos(hwt) \text{sen}(\phi_h)]$$

$$p = \sum_{h=1}^{\infty} V_1 I_h \cos(\phi_h) \text{sen}(wt) \text{sen}(hwt) - V_1 I_h \text{sen}(\phi_h) \text{sen}(wt) \cos(hwt) \quad \text{ec ( 1-19)}$$

Por la

propiedad de ortogonalidad de las funciones seno y coseno.

$$\int_0^T \text{sen}(awt)\text{sen}(bwt)dt = 0, \text{ Si } a \neq b, \text{ lo que implica que:}$$

$$\int_0^T \text{sen}(wt)\text{sen}(hwt)dt \neq 0, \text{ si } h = 1,$$

Además;

$$\int_0^T \text{sen}(awt)\cos(bwt)dt = 0 \text{ Para cualquiera de los valores } a \text{ y } b, \text{ es decir:}$$

$$\int_0^T \text{sen}(wt)\cos(hwt)dt = 0$$

De donde,

$$P = \frac{V_1 I_h \cos \phi_h}{T} \int \text{sen}^2(wt)dt$$

$$P = \frac{V_1 I_h \cos \phi_h}{2T} \int_0^T (1 - \cos(2wt))dt$$

Dado que  $h = 1$

$$P = \frac{V_1 I_1 \cos \phi_1}{2},$$

La cual, en términos de los valores eficaces de la corriente y del voltaje es:

$$P = V_{ef1} I_{ef1} \cos \phi_1 \quad \text{ec (1-20)}$$

$$I_A = I_{ef1} \cos \phi_1$$

Es la componente activa de la corriente, en fase con el voltaje en la resistencia. Mientras tanto, la componente reactiva fundamental de la corriente retrasada  $90^\circ$  con respecto al voltaje en la carga es:

$$I_R = I_{ef1} \text{sen} \phi_1$$

Además, hay una componente más, la componente de distorsión de la corriente  $I_D$ , también considerada  $90^\circ$ , tanto en la componente activa como de la componente reactiva, que produce la componente de distorsión:

$$I_D = \sqrt{(I_{ef2})^2 + (I_{ef3})^2 + \dots + (I_{efh})^2}$$

A sabiendas de las tres componentes de la corriente intervienen con desfase de  $90^\circ$ , el valor eficaz de la corriente total se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_{ef} = \sqrt{I_A^2 + I_R^2 + I_D^2}$$

Al hacer las sustituciones correspondientes, se obtiene:

$$I_{ef} = \sqrt{(I_{ef} \cos \phi)^2 + (I_{ef1} \text{sen} \phi_1)^2 + (I_{ef2})^2 + (I_{ef3})^2 + \dots + (I_{efh})^2}$$

$$I_{ef} = \sqrt{(I_{ef1})^2 + (I_{ef2})^2 + (I_{ef3})^2 + \dots + (I_{efh})^2} \quad \text{ec (1-21)}$$

Ahora bien, la componente fundamental de la corriente produce la potencia activa en la carga  $P = V_{ef1} I_{ef1} \cos \phi_1$  y también la potencia reactiva, expresada mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V_{ef1} I_{ef1} \text{sen} \phi_1 \quad \text{ec (1-22)}$$

En la carga, las demás componentes armónicas que producen productos cruzados con el voltaje, como en el caso anterior, producirán la potencia de distorsión  $D$ :

$$D = V_{ef1} \sqrt{(I_{ef2})^2 + (I_{ef3})^2 + \dots + (I_{efh})^2} \quad \text{ec (1-22 a)}$$

Al efectuar la suma de la tres potencias, se obtiene la potencia aparente,  $S$ ,

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad \text{ec (1-23)}$$

$$S = \sqrt{V_{ef1}^2 (I_{ef1} \cos \phi)^2 + V_{ef1}^2 (I_{ef1} \text{sen} \phi_1)^2 + V_{ef1}^2 (I_{ef2})^2 + \dots + V_{ef1}^2 (I_{efh})^2}$$

$$S = V_{ef1} I_{ef} \quad \text{ec (1-24)}$$

En el caso analizado en esta sección, ocurre la distorsión de la corriente; mas no así la del voltaje, el cual por corresponder a una red de

potencia infinita, prácticamente permanece invariable. O dicho de otra manera, si el generador de armónicas es de potencia insignificante en comparación con la capacidad de cortocircuito del sistema, el punto de acoplamiento común, el efecto producido sobre el voltaje no es significativo.

El factor de potencia, llamado verdadero, que se define como la relación de la potencia activa a la potencia aparente, se identificará como  $f_{pi}$ , para enfatizar que solo la corriente tiene componentes armónicas. Dicho factor de potencia es:

$$f_{pi} = \frac{V_{ef1} I_{ef1} \cos \phi_1}{V_{ef1} I_{ef1}} = \frac{P}{S}$$

$$f_{pi} = \frac{I_{ef1}}{I_{ef}} \cos \phi_1$$

ec (1-25)

Donde  $\cos \phi_1$  es el factor de desplazamiento.

$\frac{I_{ef1}}{I_{ef}}$  Es el factor de distorsión.

$I_{ef1}$  Es el valor eficaz de la componente de fundamental de la corriente.

$I_{ef}$  Es el valor eficaz de la corriente, igual la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los valores eficaces de todas las componentes fundamental y armónica.

$V_{ef1}$  Es el valor eficaz del voltaje del sistema.

Una distorsión grande de la corriente de línea producirá valores bajos de la relación de  $I_{ef1} / I_{ef}$  y por lo tanto, el factor de potencia verdadero.

La potencia activa y el voltaje se mantienen constantes, la operación con bajo factor de potencia demanda mayor corriente de línea, situación que requiere de componentes del sistema de mayor capacidad o sobrecarga de los equipos sub diseñados para sistemas con pulción amónica.

### **3.7. Secuencia**

Se refiere al giro del fasor con respecto a la fundamental (F), expresado en otras palabras indica el sentido en que giraría el rotor de un motor, al ser excitado por esa señal. Secuencia directa (+) indica que el sentido de giro es el horario. Secuencia inversa (-) indica un sentido de giro anti horario. Secuencia cero (0) indica que no gira.

Dependiendo de su secuencia y rotación, los armónicos presentan diferentes efectos:

1. Secuencia (+): Rotación Directa, puede producir calentamiento de conductores, rotura de circuitos, etc.
2. Secuencia (-): Rotación Inversa, produce un freno en el motor, además calentamiento de conductores y pueden quemar los motores de inducción trifásicos.

3. Secuencia (0): los armónicos de secuencia cero (llamados normalmente *triplens*) se suman al neutro de la red (si ésta es de cuatro hilos) y son los causantes de sobrecalentamientos.

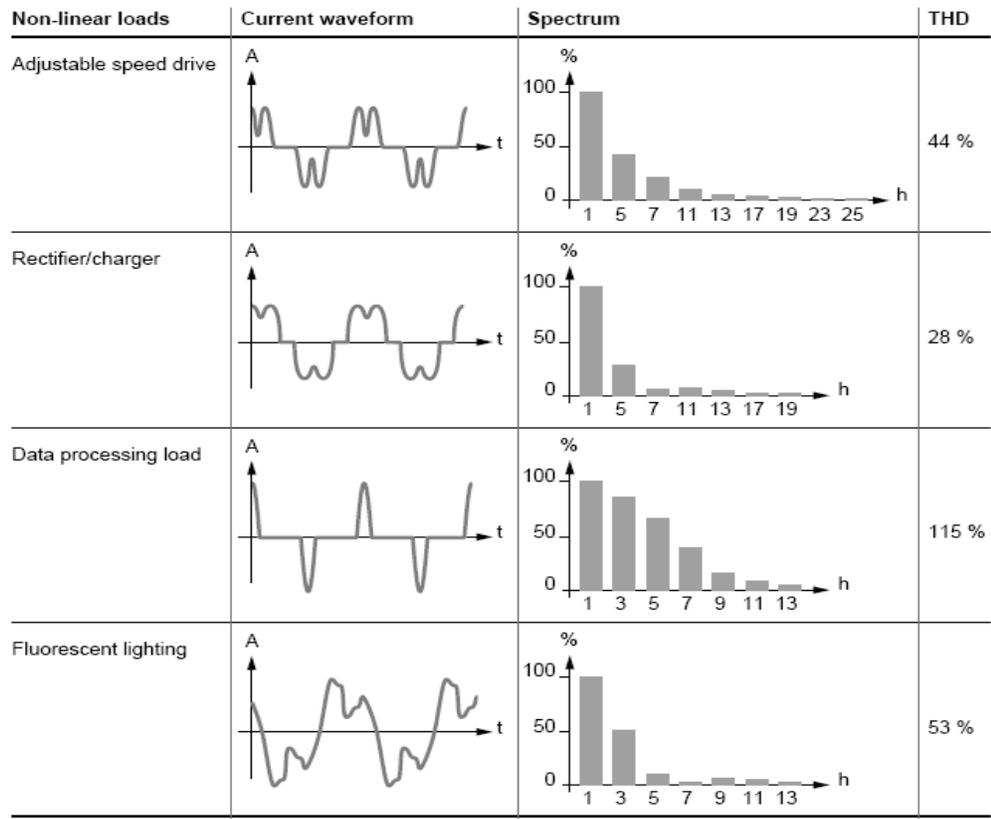
### **3.8. Fuentes de armónicos**

Los sistemas eléctricos de potencia son muy vulnerables a la presencia de armónicos debido a la conexión de cargas no lineales en los sistemas de distribución. Estas son básicamente de dos tipos: monofásicas y trifásicas. En las oficinas predominan las cargas monofásicas no lineales, mientras que en el ámbito industrial, las más comunes son las cargas trifásicas.

Una carga es lineal cuando excitada por una tensión senoidal, la corriente que circula por ella también es senoidal de la misma frecuencia (aunque puede variar su amplitud o fase). Así, las cargas típicas (resistencias, inductancias y capacitancias) se comportan de forma lineal.

Una carga es no lineal si conectada a la red eléctrica absorbe corrientes en impulsos bruscos, los cuales crean ondas de corriente distorsionadas que originan a su vez corrientes armónicas de retorno hacia otras partes del sistema de alimentación.

Figura 20. **Espectros armónicos y distorsiones totales armónicas de corriente ( $THD_i$ ) de cargas no lineales típicas**



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad autónoma de Honduras

**Introducción a la calidad del Servicio Eléctrico, Pág. 26.**

### 3.9. Compensación de armónicos

La compensación de armónicos está dividida en la compensación de voltaje o de corriente de naturaleza armónica.

La compensación de voltaje armónico no es tan conocida, debido a que normalmente los voltajes en el punto de acople del consumidor se mantiene dentro de los límites permitidos para sobre voltaje y distorsión armónica.

La compensación de corriente armónica es muy importante en aplicaciones de baja y media potencia. La ventaja de aplicar la compensación de esta forma es que reduce en gran parte la distorsión del voltaje en el punto de conexión de la carga. Las corrientes armónicas pueden resultar muy malas para la red eléctrica, producen pérdidas y sobrecalentamiento en los transformadores, calentamientos en los motores de inducción, pérdidas en el cobre de los conductores por efecto piel, pérdidas dieléctricas en condensadores; pueden producir operaciones anormales y fallas en los equipos, errores en los equipos de medida y efectos de resonancia.

### 3.10. Clasificación de los armónicos

Cada armónico tiene asociado nombre, frecuencia y secuencia, de la siguiente forma:

Nombre	Fundamental	2°	3°	4°	5°	6°	7°	
Frecuencia	60	120	180	240	300	360	420	(Hz)
Secuencia	+	-	0	+	-	0	+	

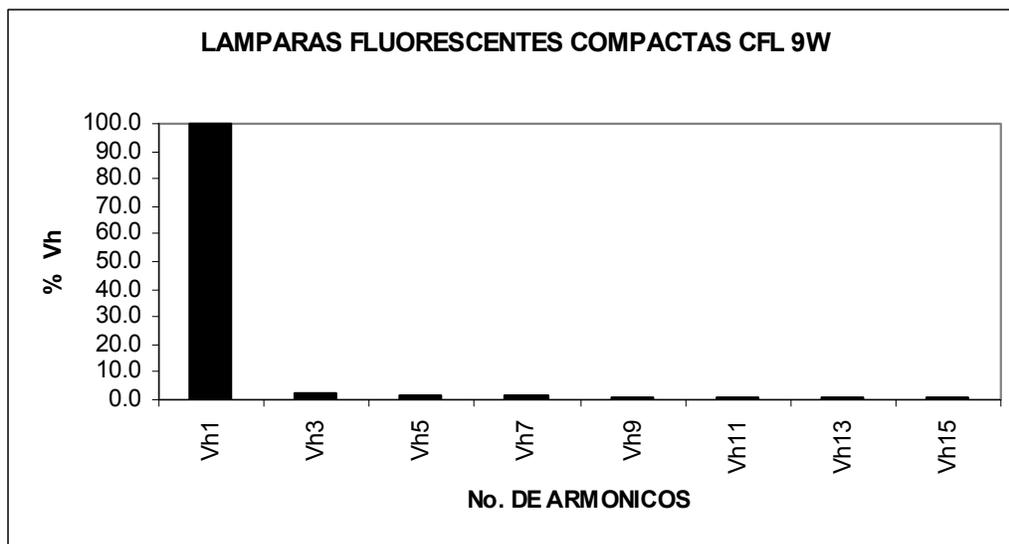
Normalmente, las ondas que circulan por la red tienen los mismos componentes positivos que negativos (simetría), con lo cual no suelen aparecer armónicos de orden par. Así, lo habitual es encontrarse con:

Nombre	F	3°	5°	7°	9°	11°	13°
Frecuencia	60	180	300	420	540	660	780 (Hz)
Secuencia	+	0	-	+	0	-	+

Las ondas simétricas contienen únicamente armónicas impares, mientras que para ondas asimétricas existirán tanto armónicas pares como impares.

### 3.11. Lámparas fluorescentes y sus armónicos

Figura 21. Distorsión armónica total de voltaje

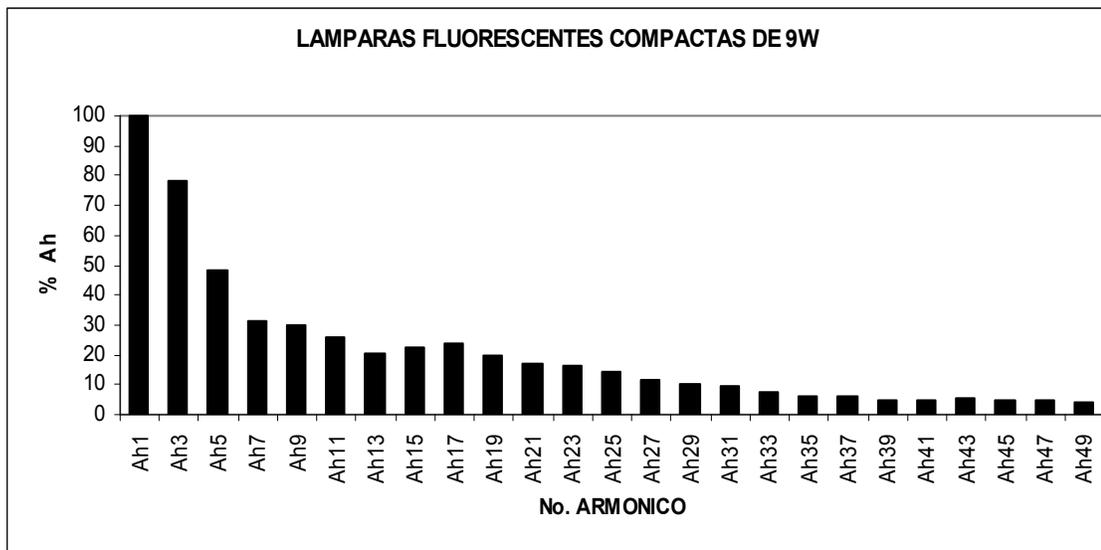


Las lámparas fluorescentes compactas CFL, estas constituyen un balastro electrónico en miniatura, debido a los componentes electrónicos del mismo se constituyen en generador de armónicos, como lo muestra la figura 23.

Se puede observar que es una lámpara fluorescente compacta de 9 W, marca EM, analizando la gráfica se observa que contiene un %  $THD_v$  de 2.6 en el orden del 3 armónico, este es el armónico más predominante. El espectro de armónico se puede ver que el orden alcanza hasta la 15ava armónica, con valores muy bajos.

No existe una norma específicamente a armónicos en lámparas fluorescentes compactas en niveles de %  $THD_v$ , se puede tomar como referencia la IEEE 519.

Figura 22. Distorsión armónica total de corriente.



En la figura 22 se analizó la misma lámpara pero con el parámetro de %  $THD_I$ , donde se observa el comportamiento del espectro de armónicos y se ve claramente que posee una gran cantidad de corrientes de armónicos.

Se puede observar que el armónico predominante siempre es el del orden 3, con 77.9% de ahí se va reduciendo hasta llegar al orden de la 49 armónica. Con esto se puede mencionar que este tipo de lámparas poseen más armónicos de corriente que de voltaje.

Este tipo de lámpara es característico que posee esa cantidad de armónicos de corriente, como también es un bajo factor de potencia en adelanto.

### **3.12 Normas**

El IEEE Standard 519-1992 "*IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*" propone los siguientes límites para  $THD_I$  y  $THD_V$

### **3.13 Efectos asociados a la reducción armónicos**

Con la reducción de armónicas se obtienen beneficios tales como:

- a) Elevación del factor de potencia.
- b) Reducción de consumo de potencia reactiva de las redes de distribución.
- c) Reducción de las pérdidas producidas por efecto joule ( $I^2R$ ).

- d) Prolongación de la vida del equipo electrónico.
- e) Reducción del sobrecalentamiento en el cableado.
- f) Reducción de pérdidas en transformadores.
- g) Incremento en la eficiencia y prolongación de la vida de los motores.

Tabla I. **Límites de distorsión de corriente en general para sistemas de distribución de 120V hasta 69,000 V**

**Current Distortion Limits for General Distribution Systems  
(120 V Through 69 000 V)**

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.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad autónoma de Honduras

**Introducción a la calidad del Servicio Eléctrico, Pág. 26.**

**Tabla II. Límites de distorsión de voltaje en general para sistemas de distribución de 120V hasta 69,000V**

**Voltage Distortion Limits**

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	Total Voltage Distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

NOTE: High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal that will attenuate by the time it is tapped for a user.

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNE), universidad autónoma de Honduras

**Introducción a la calidad del Servicio Eléctrico, Pág. 26.**

## **4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS CFL**

En este capítulo se presenta los resultados de un grupo de lámparas fluorescentes compactas CFL de diferentes marcas; con la finalidad de determinar sus características eléctricas.

### **4.1 Introducción**

A nivel mundial se está llevando a cabo una campaña de ahorro de energía eléctrica, dentro de la cual se recomienda utilizar lámparas fluorescentes más eficientes; lo que generalmente está sucediendo en Guatemala es el reemplazo de las lámparas incandescentes por lámpara fluorescente compacta CFL. De acuerdo con los fabricantes las lámparas fluorescentes compactas CFL proporcionan niveles de iluminación equivalentes a los conseguidos con las lámparas incandescentes, pero con un menor consumo de energía eléctrica.

Dada la estructura básica del balastro electrónico para las lámparas fluorescentes compactas CFL, se presentan algunos problemas con el tema de distorsiones armónicas.

Dentro de las lámparas que se utilizaron para realizar las mediciones se puede mencionar las siguientes marcas: EM, Philips, General Electric y Electrolite, ya que son las más comerciales en el mercado.

## 4.2. Procedimiento

Para las mediciones se utilizó un medidor de calidad de energía modelo 3945, marca AEMC Instrument, lámparas fluorescentes compactas CFL multímetro digital marca Fluke, modelo 87.

Debido a los criterios de ilustraciones eléctricas se procedió a establecer un procedimiento general para las pruebas.

1. Esquematizar el circuito eléctrico bajo prueba.
2. Diagrama unifilar del circuito.
3. Conexión de elementos.
4. Conectar instrumentos de medición y registro.

Las variables eléctricas a medir en cada experimento son:

- Valores Irms, Vrms.
- Niveles de factor de potencia.
- Valores de volt. armónico
- Valores de amps. armónico
- Valor de distorsión armónica total de voltaje
- Valor de distorsión armónica total de corriente
- Valor de frecuencia.

### **4.3. Características del equipo**

A continuación se encuentran las características de los equipos utilizados para las mediciones realizadas.

#### **4.3.1. Analizador de calidad de energía**

Para estas mediciones se utilizó el analizador de red AEMC Instruments, modelo 3945 que son analizadores de energía trifásicos.

Los alcances del instrumento son:

- Medición de tensiones eficaces alternas de hasta 480 V (fase neutro) o 830V (fase - fase) para las redes de 2 hilos, 3 hilos y 4 hilos.
- Medición de las corrientes eficaces alterna hasta 3000 A. Eficaces.
- Medición de la frecuencia de las redes 50 Hz, 60 Hz, (de 10 Hz a 70 Hz).
- Medición de ángulos de los armónicos y de su índice (respecto al valor de la fundamental o respecto al valor rms.) en tensión, corriente o potencia hasta el alcance de 50. Cálculo de los índices globales de distorsión armónica.
- Medición de las potencias activas, reactivas y aparentes.
- Registro del valor promedio de la energía en promedios programados de 1s a 2 hrs.

- Registro de fechas y características de las perturbaciones: sobre tensiones y trastornos.
- Registro de armónicos.
- Medición del factor de cresta.

Figura 23. **Analizador de calidad de potencia**



#### **4.3.2. Computadora personal**

Disco duro:76.6Gb

Memoria RAM: 0.99 GBb

Procesador Intel : 3.00 GHz

### 4.3.3. Multímetro digital

Marca: Fluke

Modelo 87

Figura 24. Multímetro digital Fluke



### 4.3.4. Lámparas compactas fluorescente CFL utilizadas en las pruebas.

Tabla III. Características de lámparas fluorescentes compactas CFL marca EM.

#### DATOS DEL FABRICANTE

Descripción	Lámpara 1		Lámpara 2	
Equivalencia en lámpara incandescente W.	50		80	
Vida media lámpara en hrs.	6,000		6,000	
Potencia en W	9		16	
Frecuencia Hz	50-60		50 - 60	
Tipo de casquillo	E - 27		E - 27	
Temperatura de color ° K / Color	2,700	Blanca	2,700	Blanca

**Tabla IV. Características de lámparas fluorescentes compactas CFL  
marca Philips**

**DATOS DEL FABRICANTE**

Descripción	Lámpara 1	Lámpara 2	Lámpara 3	Lámpara 4
Equivalencia en lámpara incandescente W.	60	75	100	110
Vida media lámpara en hrs.	10,000	8,000	8,000	8,000
Potencia en W	13	20	23	27
Frecuencia Hz	50-60	50 - 60	50 - 60	50 - 60
Tipo de casquillo	E - 27	E - 27	E - 27	E - 27
Temperatura de color ° K / Color	6,500   Clara	6,500   Clara	6,500   Clara	6,500   Clara
Luminosidad (lumens)	900	1,100	1,450	1,760
Eficiencia Luminosa lm / W	64	55	63	65
Factor de potencia	0.55	0.55	0.55	0.55
Corriente (mA)	205	245	315	370
País fabricación	China	China	China	China

**Tabla V. Características de lámparas fluorescentes compactas CFL marca  
Electrolite**

**DATOS DEL FABRICANTE**

Descripción	Lámpara 1
Equivalencia en lámpara incandescente W.	115
Potencia en W	23
Frecuencia Hz	50-60
Tipo de casquillo	E - 27
Temperatura de color ° K / Color	6,400   Blanca

Tabla VI. Características de lámparas fluorescentes compactas CFL  
marca General Electric

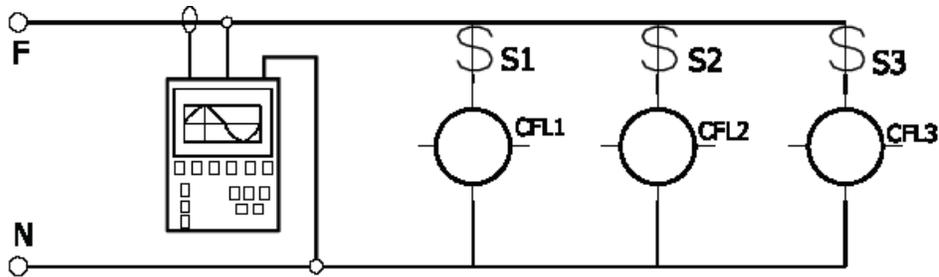
**DATOS DEL FABRICANTE**

Descripción	Lámpara 1		Lámpara 2	
Equivalencia en lámpara incandescente W.	40		110	
Vida media lámpara en hrs.	8,000		8,000	
Potencia en W	10		26	
Frecuencia Hz	50-60		50 - 60	
Tipo de casquillo	E - 27		E - 27	
Temperatura de color ° K / Color	6,500	Fría	6,500	Clara
Luminosidad (lumens)	500		1,600	
Eficiencia Luminosa lm / W	50		62	
Factor de potencia	0.50		0.50	
Corriente (mA)	140		230	
Distorsión de armónicas %	118		120	
País fabricación	China		China	

Figura 25. Lámparas sometidas a pruebas



Figura 26. **Esquema del circuito eléctrico bajo prueba**



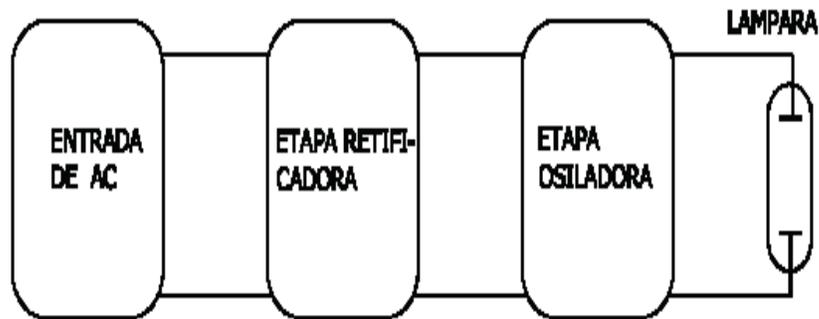
Este diagrama se utilizó para todas las lámparas fluorescentes compactas CFL, identificándolas como CFL1, CFL2 y CFL3; son de la misma potencia, S1, S2, y S3 son interruptores; estos son accionados a cada minuto. Accionando S1 y se enciende CFL1 pasado el tiempo de un minuto se acciona S2 y se enciende CFL2, pasado dos minutos se acciona S3 se enciende CFL3, y pasado tres minutos se procede a apagar todas las lámparas. Así se toman las muestras de una lámpara fluorescente compacta CFL encendida y el conjunto de las tres lámparas fluorescentes compactas CFL en funcionamiento. Este procedimiento es utilizado para todas las lámparas. La toma de voltaje se realizó directamente del flip-on principal, de la acometida principal.

Al momento de ir accionando los interruptores se anotan los datos medidos y se observa gráficamente en el medidor de calidad de energía AEMC.

## 5. MEDICIONES Y EFECTOS DE LAS LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS CFL

En este capítulo se dan a conocer los resultados de las mediciones efectuadas a un grupo de 27 lámparas fluorescentes compactas CFL de 4 marcas diferentes con potencias nominales de 9, 10,13,16, 20,23, 26,27, W.

Figura 27. Diagrama básico de una lámpara compacta CFL



Como se observan en la figura 27 el circuito de una lámpara fluorescente compacta CFL consiste en la alimentación AC y posterior a eso un rectificador de AC-DC , luego se observa el oscilador DC-AC, para obtener un voltaje alterno de alta frecuencia.

## 5.1. Resultados de lámparas fluorescentes compactas marca EM

A continuación se presentan los resultados de las mediciones realizadas a las lámparas fluorescentes compactas EM

### 5.1.1. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas CFL EM 9W

Es importante hacer notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 9W.

Tabla VII. Resultado de medición en lámparas CFL EM 9W

#### DATOS MEDIDOS

Descripción	Lámpara 1	+	Lámpara 2	+	Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	116.8		116.5		116.5	
Corriente (mA)	40		75		120	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.61	capacitivo	0.62	capacitivo	0.63	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	76.24	3	77.46	3	77.9
Armónico predominante en voltaje	3	2.2	3	2.4	3	2.6
Distorsión total de corriente ATHD %	113.7		114		116.1	
Distorsión total de voltaje VTHD %	2.92		3.06		3.2	
Potencia medida W	2.84		5.4		8.7	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 28. Espectro de voltaje EM 9W

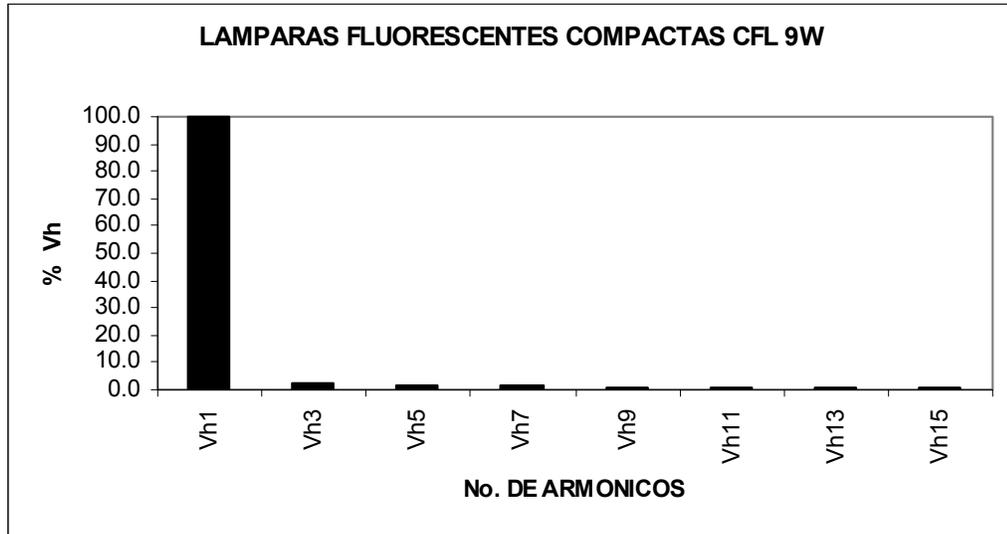
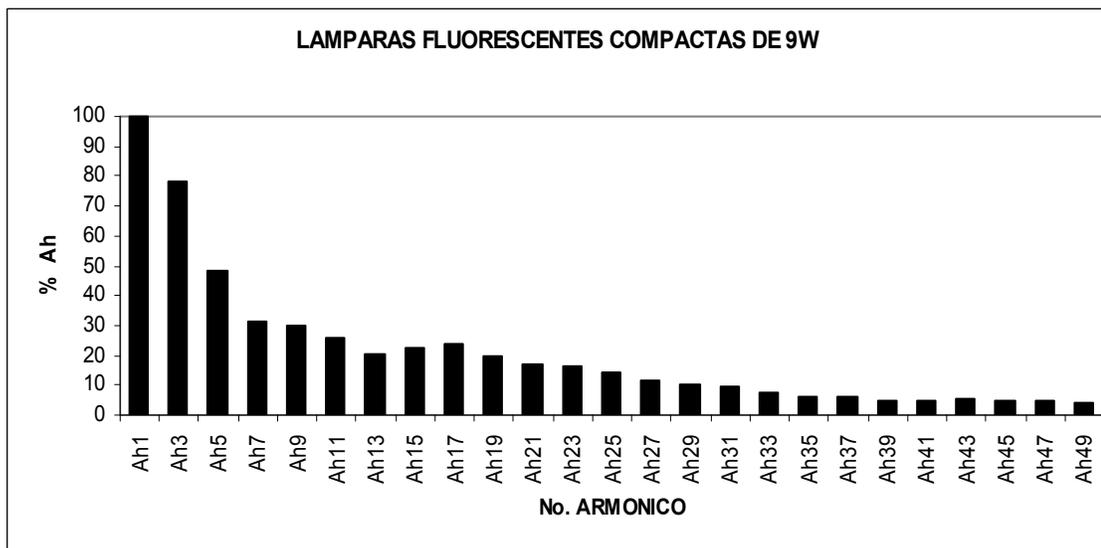


Figura 29. Espectro de corriente EM 9W



### 5.1.2. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas CFL EM 16W

Es importante hacer notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 16W.

Tabla VIII. Resultado de medición en lámparas CFL EM 16 W.

#### DATOS MEDIDOS

Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	118.6		118.4		118.2	
Corriente (mA)	180		335		495	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.56	capacitivo	0.57	capacitivo	0.58	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	75	3	75	3	76.8
Armónico predominante en voltaje	3	2.2	3	2.4	3	2.7
Distorsión total de corriente ATHD %	127		122		128.3	
Distorsión total de voltaje VTHD %	2.92		3.06		3.3	
Potencia medida W	11.95		22.6		33.93	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 30. Espectro de Voltaje EM 16W

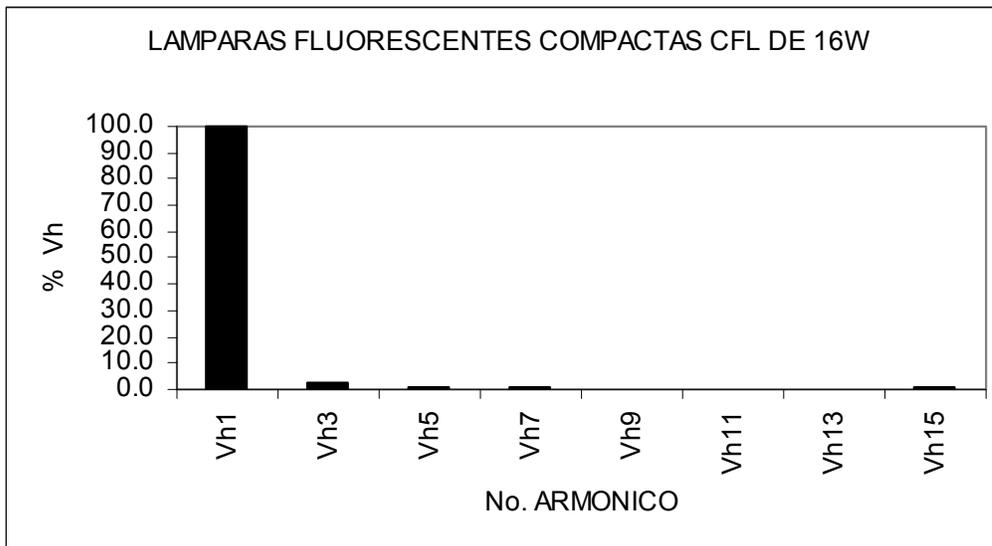
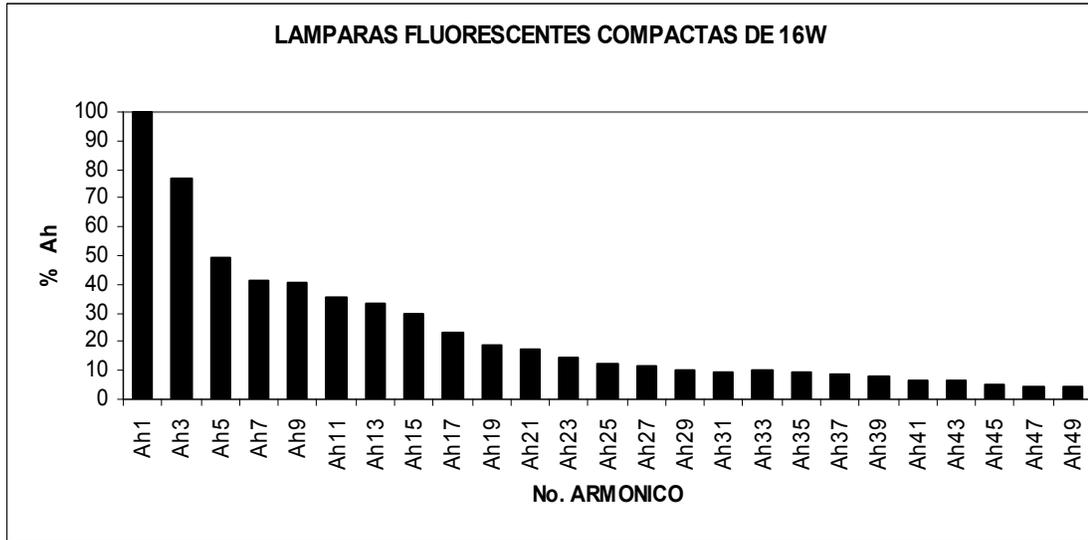


Figura 31. Espectro de corriente EM 16W



### 5.1.3. Análisis de resultados

De las mediciones tomadas a las lámparas de 9 y 16W marca EM se obtienen las tablas No. VII y VIII y los gráficos No. 28, 29, 30, y 31. En ellas se puede observar que la distorsión en el voltaje predominan los armónicos de bajo orden, siendo el más importante el tercer armónico con valores máximos de 2.6 y 2.7%. Con relación a la distorsión en la corriente se encuentran armónicos en todos los órdenes, siendo el más importante el tercer armónico con valores máximos del 77.9 y 76.8%. Con relación a los niveles de distorsión total de armónicos VTHD y ATHD se observa que tienen valores de 3.2, 3.3% y 118.10, 128.30%. Con relación a la medición de potencia se puede notar que se obtiene un bajo factor de potencia del tipo capacitivo. Conforme se incorporan más lámparas se observa que el factor de potencia varia llegando a valores de 0.63 y 0.58 respectivamente. Estos valores son tomados de los resultados obtenidos al tener tres lámparas funcionando al mismo instante.

La causa de esta distorsión es el tipo de circuito usado como conversor AC/DC debido a que los componentes que forman el rectificador son del tipo no lineal (diodos). Cabe mencionar que predominan los armónicos impares y con relación a los pares se observa que se anulan entre ellos.

Es importante analizar la tabla III donde se observa que la potencia nominal de cada lámpara es de 9 y 16W, sin embargo, los valores medidos de potencia registran valores más pequeños que los nominales, según las tablas No. VII y VIII. También, se puede ver que es muy poca la información que proporciona el fabricante.

## 5.2. Resultados de lámparas fluorescentes compactas marca GE

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas a las lámparas fluorescentes compactas GE.

### 5.2.1. Mediciones de lámparas fluorescentes CFL GE 10W

Es importante notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 10W.

Tabla IX. Resultado de medición en lámparas CFL GE 10 W.

DATOS MEDIDOS						
Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	117.37		117.37		117.47	
Corriente (mA)	130		250		370	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.62	capacitivo	0.63	capacitivo	0.64	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	67	3	68	3	69.4
Armónico predominante en voltaje	3	2.4	3	2.5	3	2.8
Distorsión total de corriente ATHD %	106.5		105		109.7	
Distorsión total de voltaje VTHD %	3.1		3.2		3.4	
Potencia medida W	9.46		18.48		28.16	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 32. Espectro de voltaje GE 10W

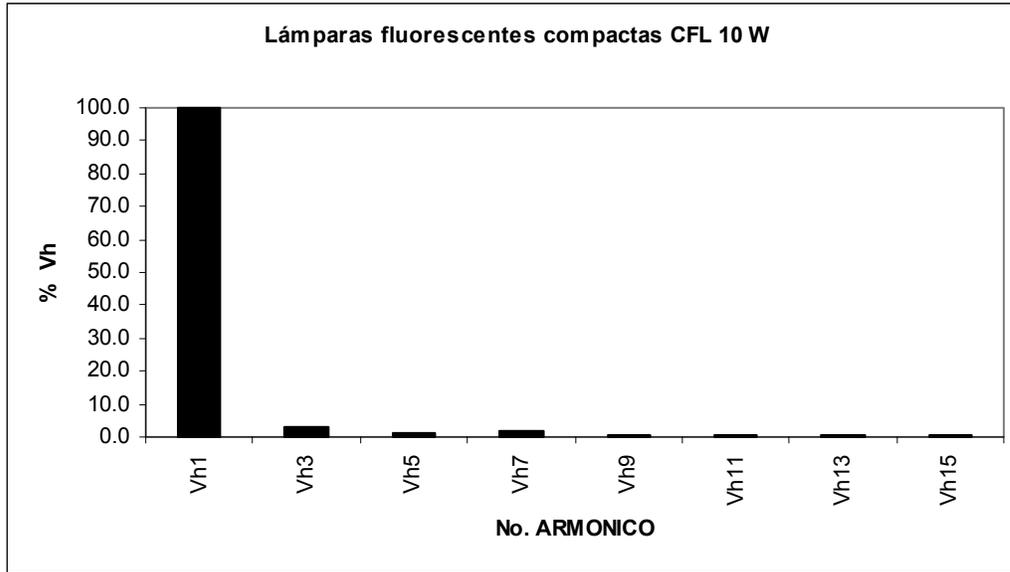
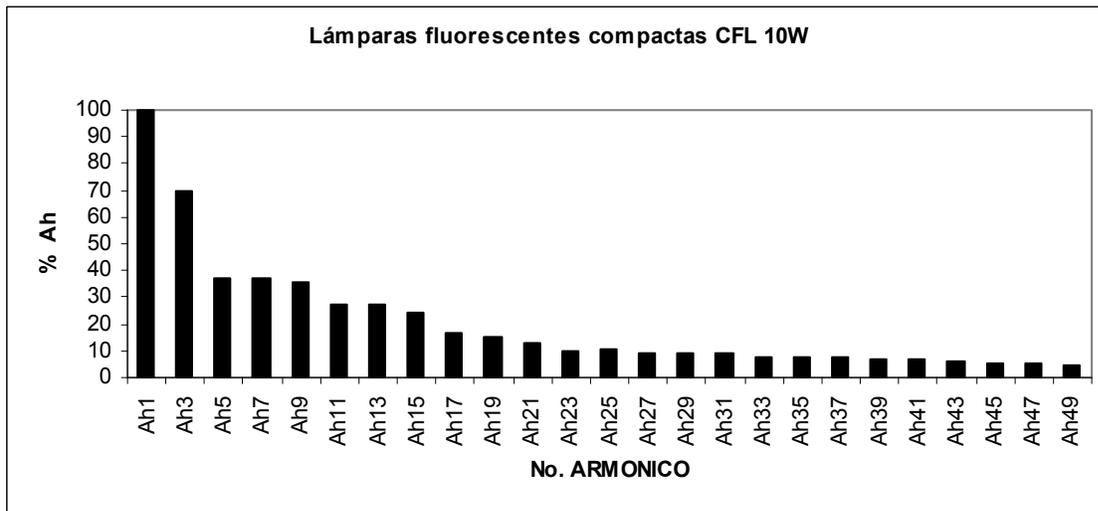


Figura 33. Espectro de corriente GE 10W



## 5.2.2. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas GE 26W.

Es importante notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 10W.

Tabla X. Resultado de medición en lámparas CFL GE 26 W.

### DATOS MEDIDOS

Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	118.4		117		115.96	
Corriente (mA)	300		700		1000	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.6	capacitivo	0.61	capacitivo	0.62	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	69	3	68	3	72.1
Armónico predominante en voltaje	3	2.32	3	2.6	3	3.1
Distorsión total de corriente ATHD %	110.8		109		119.2	
Distorsión total de voltaje VTHD %	3.12		3.32		3.6	
Potencia medida W	22.4		50.5		71.9	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 34. Espectro de voltaje GE 26W

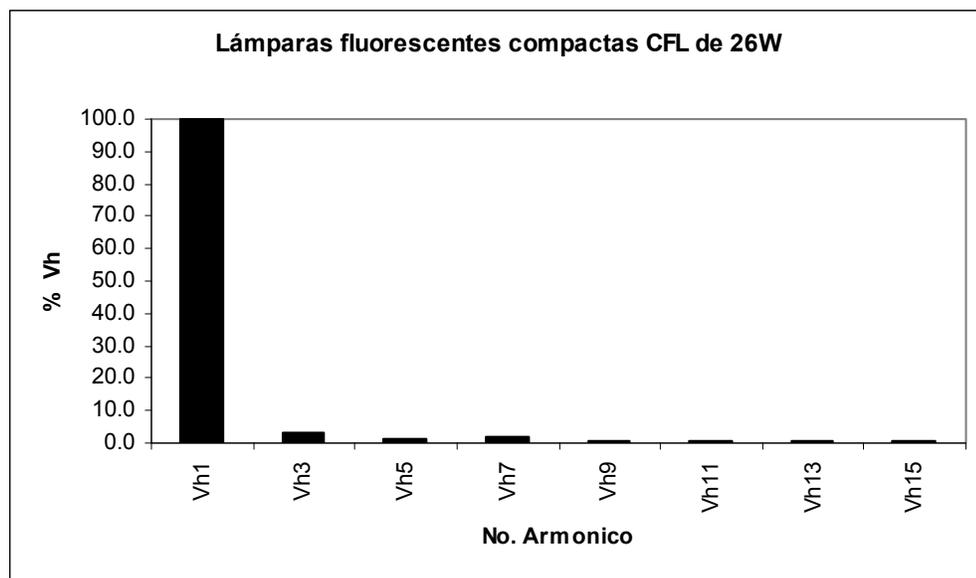
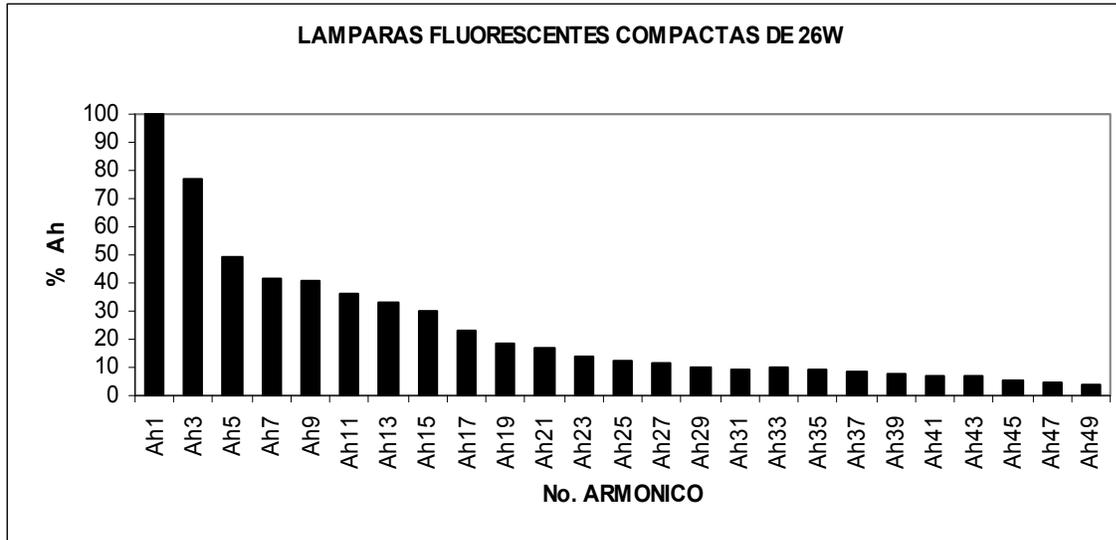


Figura 35. Espectro de corriente GE 26W



### 5.2.3. Análisis de resultados

De las mediciones tomadas a las lámparas de 10 y 26W marca GE se obtienen las tablas IX y X y los gráficos 32, 33, 34, y 35. En ellas se puede observar que la distorsión en el voltaje predominan los armónicos de bajo orden, siendo el más importante el tercer armónico con valores máximos de 2.8 y 3.1% respectivamente. Con relación a la distorsión en la corriente se encuentran armónicos en todos las órdenes, siendo el más importantes el tercer armónico con valores máximos del 69.4 y 72.1% respectivamente. Con relación a los niveles de distorsión total de armónicos VTHD y ATHD se observa que tienen valores de 3.4, 3.6% y 109.7, 119.2% respectivamente. Con relación a la medición de potencia se puede notar que se obtiene un bajo factor de potencia del tipo capacitivo. Conforme se incorporan más lámparas se observa que el factor de potencia varia llegando a valores de 0.64 y 0.62. Estos valores son tomados de los resultados obtenidos al tener tres lámparas funcionando al mismo instante.

La causa de esta distorsión es el tipo de circuito usado como convertidor AC/DC, debido a que los componentes que forman el rectificador son del tipo no lineal (diodos). Cabe mencionar que predominan los armónicos impares y con relación a los pares se observa que se anulan entre ellos.

### 5.3. Resultados marca Electrolite

A continuación, se presentan los resultados de las mediciones realizadas a las lámparas fluorescentes compactas Electrolite.

#### 5.3.1. Mediciones de lámparas fluorescentes CFL Electrolite 23W.

Es importante tomar nota que los datos que se presentan son para las lámparas de 23W.

Tabla XI. Resultado de medición en lámpara CFL Electrolite 23W.

#### DATOS MEDIDOS

Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	118.8		118.8		118	
Corriente (mA)	130		255		375	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.61	capacitivo	0.6	capacitivo	0.61	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	59	3	61	3	63
Armónico predominante en voltaje	3	2.24	3	2.28	3	2.4
Distorsión total de corriente ATHD %	78.62		83.16		83.8	
Distorsión total de voltaje VTHD %	3.3		3.4		3.5	
Potencia medida W	10		18.1		26.92	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 36 Espectro de voltaje Electrolite 23W

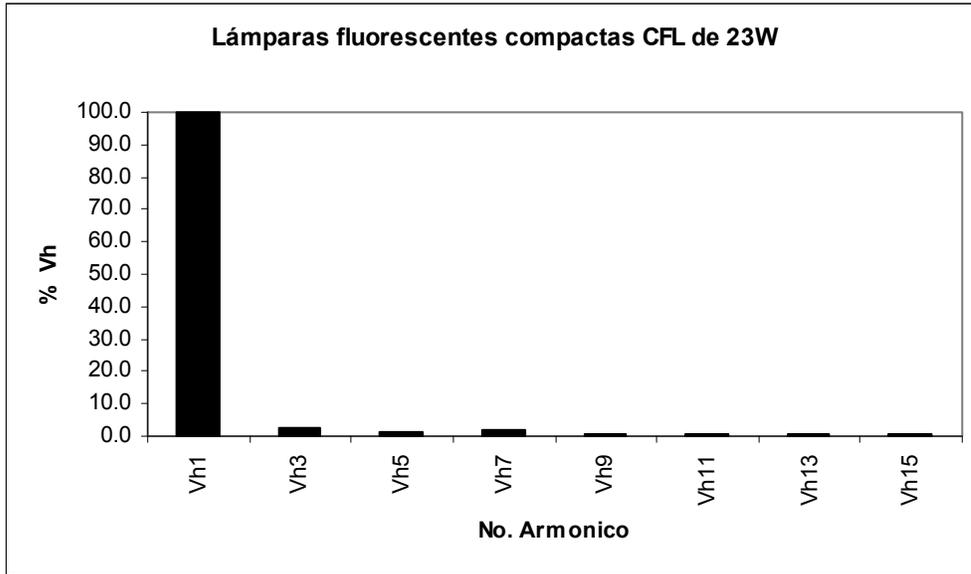
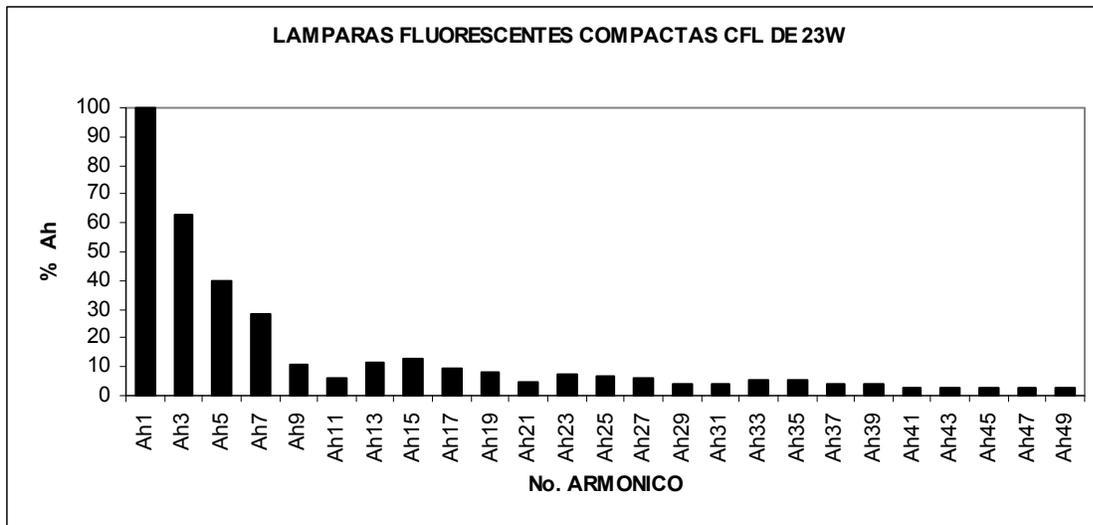


Figura 37. Espectro de corriente Electrolite 23W



### 5.3.2. Análisis de resultados

De las mediciones tomadas a las lámparas de 23W marca Electrolite se obtienen la tabla XI y los gráficos 36 y 37. En ellas se puede observar que en la distorsión en el voltaje predominan los armónicos de bajo orden, siendo el más importante el tercer armónico con el valor máximo de 2.4%. Con relación a la distorsión en la corriente se encuentran armónicos en todos los órdenes, siendo el más importante el tercer armónico con el valor máximo de 63%. Con relación a los niveles de distorsión total de armónicos VTHD y ATHD se observa que tienen valores de 3.5% y 83.8% respectivamente.

Con relación al factor de potencia se observa que tiene un bajo factor capacitivo y que conforme se incorporaban más lámparas el mismo varía llegando a valores de 0.61. Estos valores son tomados del conjunto de los resultados de las tres lámparas funcionando al mismo instante.

La causa de esta distorsión es el tipo de circuito usado como conversor AC/DC debido a que los componentes que forman el rectificador son del tipo no lineal (diodos). Cabe mencionar que predominan los armónicos impares.

Es importante analizar la tabla V donde podemos observar que la potencia nominal de cada lámpara es de 23W, sin embargo los valores medidos de potencia nos registran valores más pequeños que los nominales. Así como también, se ve que es muy poca la información que proporciona el fabricante.

## 5.4. Resultados de lámparas fluorescentes compactas marca Philips

A continuación se presentan los resultados de las mediciones realizadas a las lámparas fluorescentes compactas Philips.

### 5.4.1. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 13W.

Es importante hacer notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 13W.

Tabla XII. Resultado de medición en lámparas CFL Philips 13W.

DATOS MEDIDOS						
Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	112		116.5		118.5	
Corriente (mA)	255		410		600	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.59	capacitivo	0.58	capacitivo	0.57	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	68.94	3	69.42	3	70.9
Armónico predominante en voltaje	3	2.26	3	2.5	3	2.8
Distorsión total de corriente ATHD %	98		101		106.7	
Distorsión total de voltaje VTHD %	2.2		2.5		3.5	
Potencia medida W	14.86		27.7		40.5	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 38. Espectro de voltaje Philips 13W

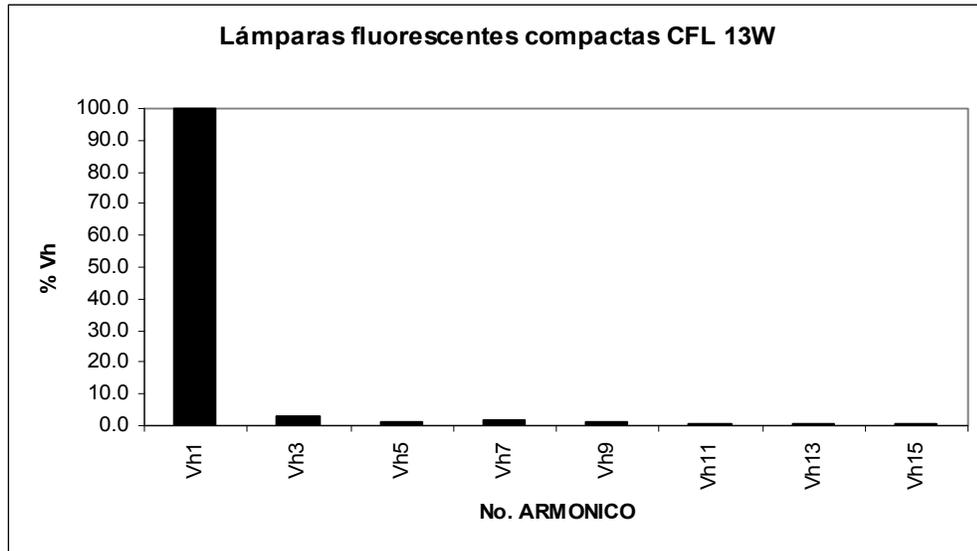
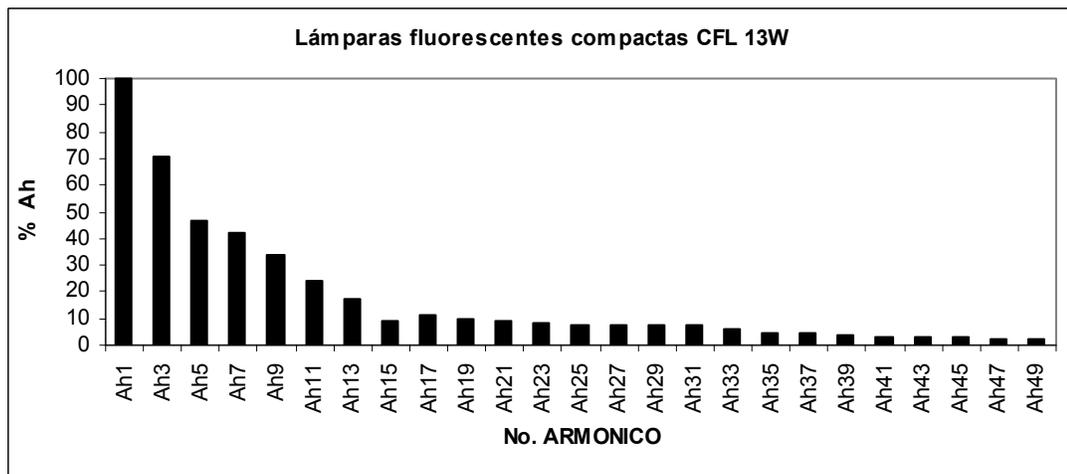


Figura 39. Espectro de corriente Philips 13W



### 5.4.2. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 20W.

Es importante hacer notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 20W.

Tabla XIII. Resultado de medición en lámparas CFL Philips 20W.

DATOS MEDIDOS						
Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	119		117		116.5	
Corriente (mA)	240		480		715	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.63	capacitivo	0.63	capacitivo	0.63	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	65	3	66	3	67.2
Armónico predominante en voltaje	3	1.9	3	2.18	3	2.5
Distorsión total de corriente ATHD %	97		96		98.6	
Distorsión total de voltaje VTHD %	2.8		2.8		3.2	
Potencia medida W	18.4		35.38		54.97	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 40. Espectro de voltaje Philips 20W

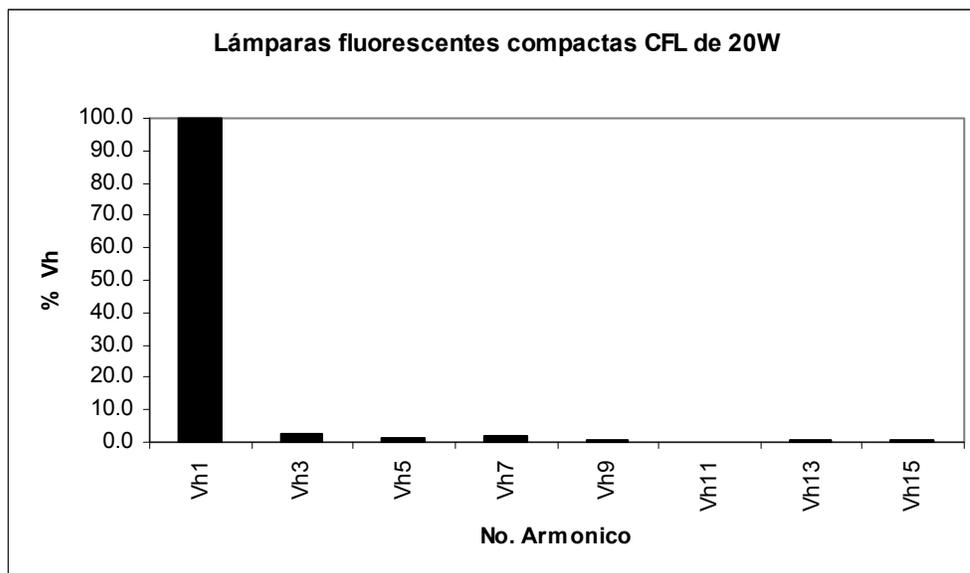
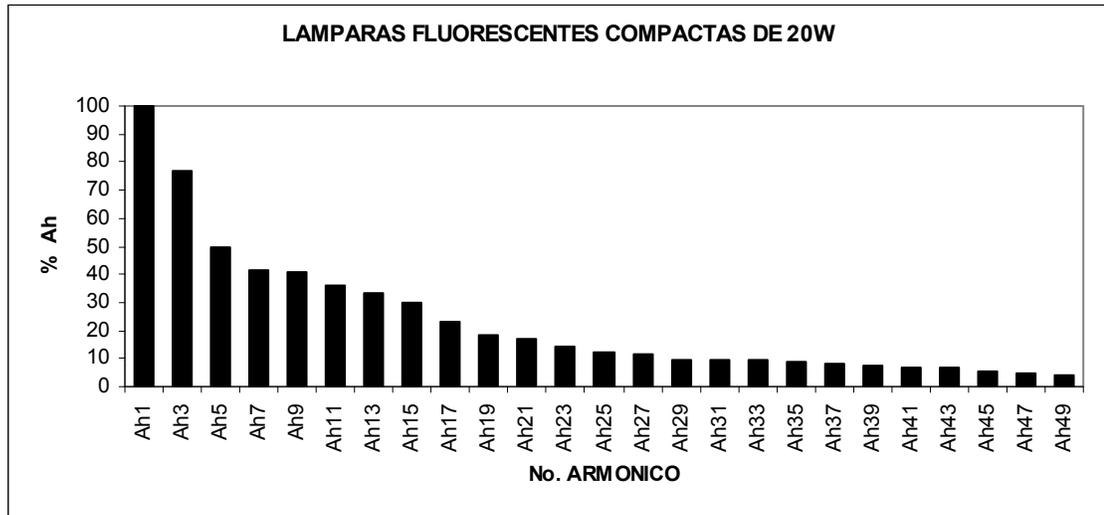


Figura 41. Espectro de corriente Philips 20W



### 5.4.3. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 23W.

Es importante hacer notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 23W.

Tabla XIV. Resultado de medición en lámparas CFL Philips 23W.

DATOS MEDIDOS						
Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	119.2		117		116.9	
Corriente (mA)	400		700		1000	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.56	capacitivo	0.58	capacitivo	0.58	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	72.56	3	72	3	73.8
Armónico predominante en voltaje	3	2.34	3	2.8	3	3
Distorsión total de corriente ATHD %	112.5		107		114.8	
Distorsión total de voltaje VTHD %	3.26		3.6		3.7	
Potencia medida W	26.7		47.7		71.59	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 42. Espectro de voltaje Philips 23W

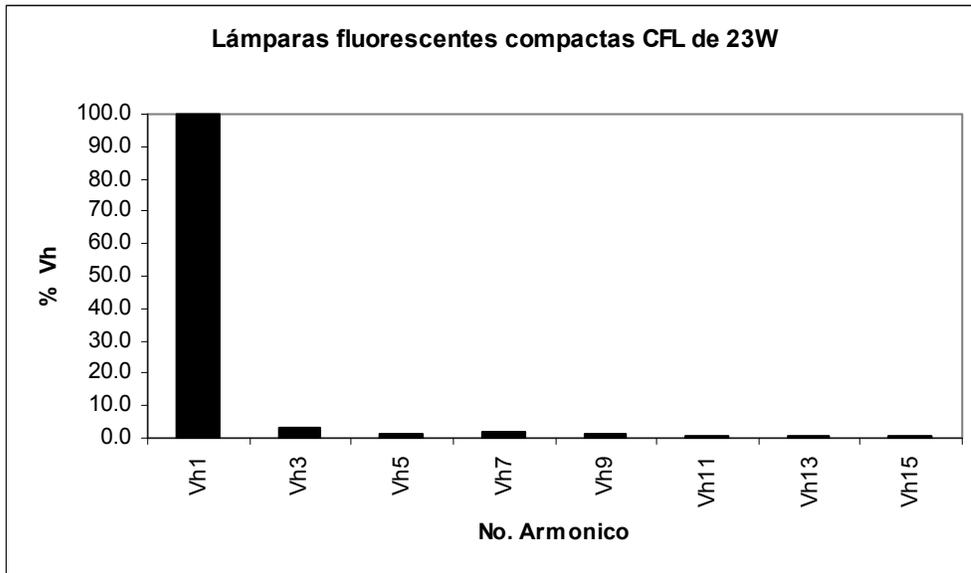
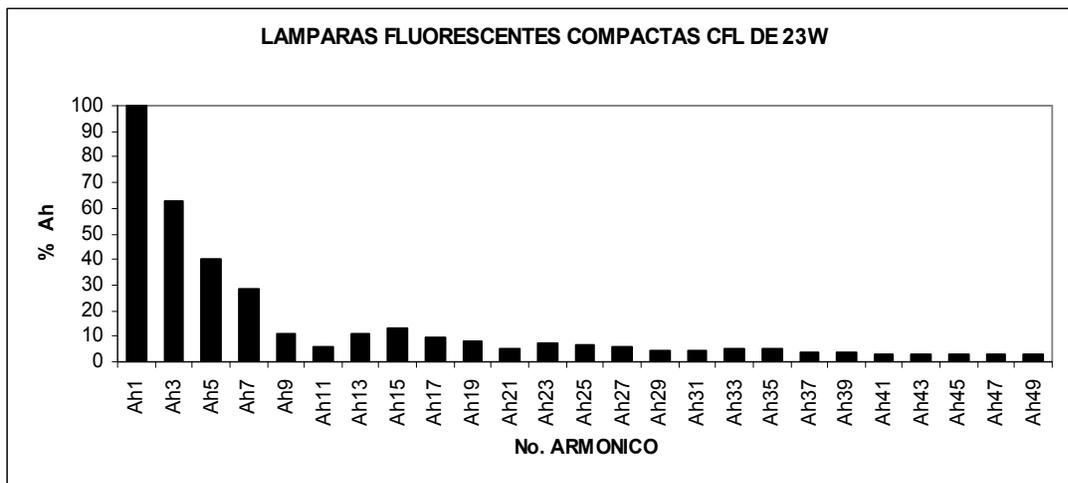


Figura 43. Espectro de corriente Philips 23W



#### 5.4.4. Mediciones de lámparas fluorescentes compactas Philips 27W.

Es importante hacer notar que los datos que se presentan son para las lámparas de 27W.

Tabla XV. Resultado de medición en lámparas CFL Philips 27W.

DATOS MEDIDOS						
Descripción	Lámpara 1 +		Lámpara 2 +		Lámpara 3	
Voltaje de entrada (V)	118		117		117	
Corriente (mA)	400		700		1100	
Tiempo encendido minutos	3		2		1	
Factor de potencia	0.55	capacitivo	0.56	capacitivo	0.57	capacitivo
Armónico predominante en corriente, orden / %	3	75	3	76	3	75
Armónico predominante en voltaje	3	2.3	3	2.5	3	2.9
Distorsión total de corriente ATHD %	120		123		126.3	
Distorsión total de voltaje VTHD %	3.1		3.3		3.5	
Potencia medida W	26.2		46.9		74.6	
Frecuencia hertz	60		60		60	

Figura 44. Espectro de voltaje Philips 27W

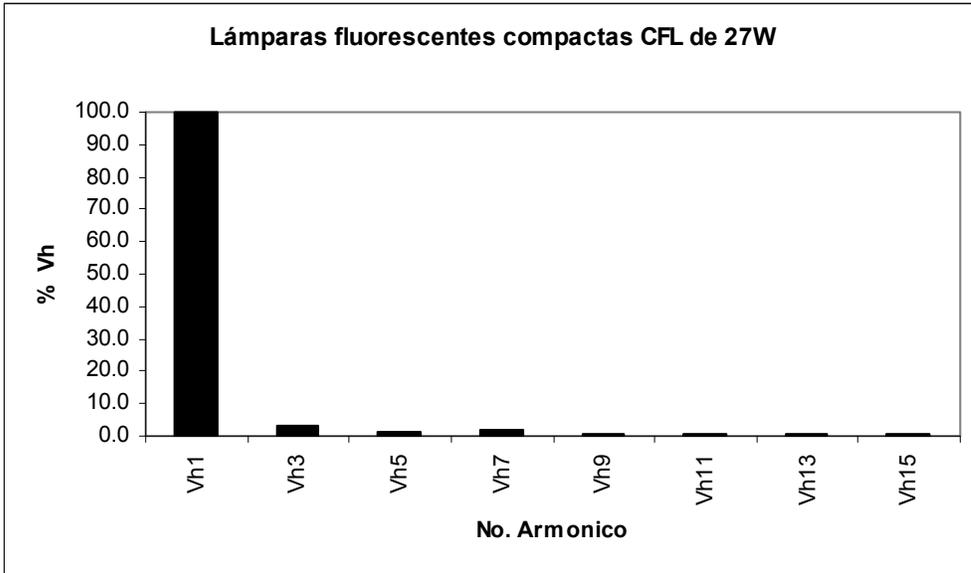
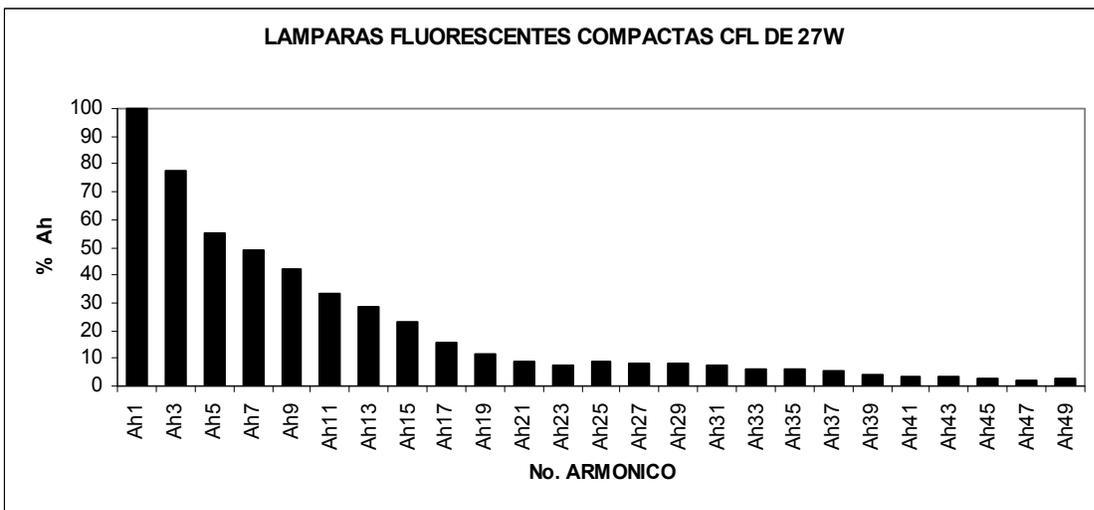


Figura 45. Espectro de corriente Philips 27W



#### **5.4.5. Análisis de resultados**

De las mediciones tomadas a las lámparas de 13, 20, 23, 27W marca Philips se obtienen las tablas No. XII, XIII, XIV, XV y los gráficos No. 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45. En ellas se puede observar que la distorsión en el voltaje predominan los armónicos de bajo orden, siendo el más importante el tercer armónico con valores máximos de 2.8 y 2.5, 3, 2.9%. Con relación a la distorsión en la corriente se encuentran armónicos en todos los órdenes, siendo el más importantes el tercer armónico con valores máximos del 70.9, 67.2, 73.8, 75% respectivamente. Con relación a los niveles de distorsión total de armónicos VTHD y ATHD se observa que tienen valores de 3.5, 3.2, 3.7, 3.5% y 106.7, 98.6, 114.8, 126.3%. Con relación a la medición de potencia se puede notar que se obtiene un bajo factor de potencia del tipo capacitivo. Conforme se incorporan más lámparas se observa que el factor de potencia varia, llegando a valores de 0.63, 0.56, 0.58, 0.57 respectivamente. Estos valores son tomados de los resultados obtenidos al tener tres lámparas funcionando al mismo instante.

La causa de esta distorsión es el tipo de circuito usado como convertidor AC/DC debido a que los componentes que forman el rectificador son del tipo no lineal (diodos). Cabe mencionar que predominan los armónicos impares y con relación a los pares se observa que se anulan entre ellos.

## **5.5. Efectos de las lámparas fluorescentes compactas CFL**

Como se observa en los gráficos de espectros de voltaje y corriente este tipo de lámpara es generadora de armónicos. Al analizar los flujos de corriente armónica por medio de los conductores en especial en el hilo del neutro por el cual están circulando las armónicas triples o de secuencia cero, se determina que para este tipo de lámparas es la 3ª armónica la de mayor impacto. Este flujo de corrientes contaminadas provocan principalmente una elevación de temperatura en el neutro y como consecuencia que se pueda degradar su aislamiento, es importante recordar que en los centro de carga el neutro no esta protegido, estos solo llegan a una barra, la cual elevara su temperatura , además se observa la caída de tensión que provocan estas corrientes a través de la impedancia del hilo del neutro, en algunas ocasiones esta puede ser lo suficientemente alta para provocar problemas de funcionamiento en equipos muy sensibles.

Cuando existe una elevación de temperatura en una instalación se puede dar por una sobrecarga o un cortocircuito en esos casos actúa la protección térmica (interruptor termo-magnético), la corriente armónica al provocar una elevación de temperatura puede hacer actuar los interruptores termo magnéticos sin que necesariamente exista alguna falla.

Como se ha dicho con relación a las lámparas fluorescentes compactas CFL que son generadoras de armónicos, se puede pensar que en una instalación cualquiera que sea, existen siempre equipos electrónicos que su propio funcionamiento requieren de un conversor de AC/DC, los cuales son generadores de armónicos. Por ejemplo, si existiera una televisión conectada en la instalación se podría dar el caso que hubiese distorsión en la imagen de la pantalla , esto debido al flujo de armónicos que hay en esa instalación.

Otro grave problema que se tiene por el flujo de corrientes de armónicas es que todas van más allá de las acometidas, estas se inyectan al sistema de distribución contaminándolas con corrientes armónicas, el primer equipo eléctrico que detecta éstas distorsiones es el transformador de distribución. La conexión delta – delta es recomendada para transformadores de distribución para el camino cerrado de la tercera armónica, sin embargo, la conexión delta – estrella es utilizada para aislar las corrientes de secuencia cero y eliminar voltajes de tercera armónica. Los armónicos pueden elevar la temperatura en los transformadores, la cual causa pérdidas en los devanados y núcleos de los transformadores, por ello los años de vida útil del transformador se reducirán, como también la eficiencia del mismo.

La presencia de armónicos afecta severamente la lectura de instrumentos, para el caso de los medidores puede suceder que éstos no funcionen correctamente y que las lecturas puedan ser erróneas, debido a que están diseñados para que funcionen a la frecuencia de la red de 60Hz.



## CONCLUSIONES

1. Basado en las mediciones de las lámparas fluorescentes compactas CFL, se puede notar que esas generan un alto porcentaje de armónicos de corriente y un bajo porcentaje de armónicos de voltaje. El armónico más predominante en las mediciones corresponde al tercer armónico, en corriente y voltaje.
2. Las lámparas fluorescentes compactas CFL son lámparas con balastos electrónicos, las cuales poseen un bajo factor de potencia del tipo capacitivo.
3. De acuerdo con la información que brinda el fabricante de las lámparas EM y Electrolite, se indica una potencia de consumo y en las mediciones realizadas se registra un valor de potencia más pequeño. Por otro lado las lámparas fluorescentes compactas CFL marca Electrolite no especifican el tiempo de vida útil de éstas.
4. Las lámparas fluorescentes compactas CFL marca General Electric y Philips detallan en su empaque las características técnicas de la misma, luego de hacer las mediciones respectivas se comprueba que si equivalen a los valores indicados.
5. Las lámparas EM especifican una vida media de 6,000 horas. Es importante notar que la vida media de este tipo de lámparas fluorescentes compactas CFL está entre 8,000 -10,000 horas.

6. En general la distorsión total de voltaje *VTHD* en porcentaje para todas las lámparas medidas es muy pequeño, no sobrepasa del 4%, por lo que se considera dentro de los límites establecidos.
  
7. El porcentaje de distorsión total de corriente *ATHD* en las lámparas analizadas muestra un valor bastante alto, que varía los porcentajes de cada uno de ellos de acuerdo con la marca.

## RECOMENDACIONES

1. Para el usuario colocar lámparas fluorescentes compactas significa menos consumo de energía y por lo tanto ahorro en costos, pero es importante considerar los efectos que pueden hacer este tipo de lámparas a la red eléctrica.
2. Al momento de comprar lámparas fluorescentes compactas CFL, se deben considerar las características técnicas de las lámparas como por ejemplo la potencia de la misma, la vida media, voltaje de entrada, la frecuencia, el tipo de socket o casquillo, marca del producto, el tipo de color de iluminación que se quiere.
3. Si se desea colocar lámparas fluorescentes compactas CFL en una instalación eléctrica, por ejemplo en un edificio, será necesario realizar un estudio del comportamiento de las lámparas, el cual básicamente debe ser sobre los armónicos, debido a que poseen una gran cantidad de armónicos de corriente y un bajo factor de potencia del tipo capacitivo.
4. Cuando se instalen lámparas fluorescentes compactas CFL se recomienda verificar los calibres de los conductores del neutro, ya que este deberá ser del mismo calibre de la fase.



## BIBLIOGRAFÍA

1. A Callejas, M. Alonso y E. López. **Analysis and experimental result of a single-stage high-power-factor electronic ballast based on fly back converter.** México: Ambreu
2. ANSI. Fluorescent lamps. **Guide for electrical measurements.** C78.375-1991, EEUU: Prentice Hill
3. **Balastro electrónico con alto de factor de Potencia y regulación de flujo luminoso.** México: CASA, 1999
4. **Fluorescent lamps - preheat-star types. Dimensional and Electrical characteristics, supplements.** C78.2a-92; C78.2b-92; C78.2c-93 y C78.2-1991 (R 1996). EEUU: McGraw Hill 1996
5. **Fluorescent lamps - self supporting, single-based compact types Dimensional and electrical characteristics.** C78.4-1995. EUU: McGraw Hill, 1997, No. PP 45
6. González López, Francisco Javier. **Fundamentos teóricos sobre armónicos.** España: CEAC, 1999
7. **IEEE. Trans power electron.** Vol 14, pp 998-1006, EEUU: CEAC, 1999
8. Machorro Viñas, José Hernando. **Estudio de balastos electrónicos para el ahorro de energía,** Universidad de Las Américas Puebla, México: Paraninfo, 2003
9. Martínez Victoria, D. A. **Balastos electrónicos.** Tesis Lic. Ing. en electrónica y comunicaciones universidad de las ameritas, Puebla, México: Paraninfo 2005

10 Rashid Muhammad. **Electrónica de potencia, circuitos, dispositivo y aplicaciones**. EEUU: Prentice Hall, 1995.

11 **Estándar on electromagnetic comaptibility**. EEUU: Prentice Hill, 1995

12 W. Elembas. **Fluorescent Lamp and Lighting**. 2da ed. EEUU: McGraw Hill, 2001

## REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

1. [http://www.ucab.edu.ve/ucabnuevo/informatica/recursos/practica6\\_labf.pdf](http://www.ucab.edu.ve/ucabnuevo/informatica/recursos/practica6_labf.pdf)
2. <http://stielec.ac-aix-arseille.fr/cours/abati/decoupt.htm>
3. <http://www.freewebs.com/freygod/faq.htm>
4. <http://www.rocketerias.com.mx/pdf/cooper.pdf>
5. <http://www.conae.gob.mx/programas/alumbrado1/nom058.pdf>
6. [http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia\\_Electricidad.htm](http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm)
7. [www.ge.com](http://www.ge.com).
8. [www.elimsa.com.mx](http://www.elimsa.com.mx)
9. [WWW.elt.es](http://WWW.elt.es)
10. [www.dais.ujat.mx](http://www.dais.ujat.mx)
11. [www.ieee.com](http://www.ieee.com)
12. [www.onfo@bekolite.com](http://www.onfo@bekolite.com)
13. <http://www.iram.org>
14. <http://www.fosnova>
15. <http://www.asifunciona.com>

Fecha de consulta y archivado de información agosto de 2009.