

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

***“PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN FILTRO
PASIVO PARA LAMPARAS FLUORESCENTES TIPO T8”***

Que para tener el titulo de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presentan:

**C. BAEZA MARTIN SAMUEL
C. SANCHEZ CASTRO ALEJANDRO**

Asesores:

**Ing. Hernández Ledesma David
M. en C. Flores Cruz Jesús Alberto**

México D.F. Noviembre 2007





Índice

Índice	
Justificación	i
Objetivo General	iv
Objetivo Particular	iv
Introducción	v
Marco metodológico	vii
Pirámide conceptual	viii

Capítulo 1. Calidad de la energía eléctrica en sistemas eléctricos de distribución.

1.1	¿Que es calidad de la energía?	2
1.2	Clasificación de los fenómenos de calidad de la energía.	6
1.3	Fenómeno de baja frecuencia conocidos: Armónicas.	7
1.4	La iluminación.	8
1.5	Clasificación de los sistemas de iluminación	9
1.6	El flujo luminoso.	10
1.7	Requisitos para una buena iluminación	10
1.8	Nivel de iluminación	10
1.9	Tipos de lámparas	11
1.9.1	Lámparas incandescentes.	11
1.9.2	Lámparas fluorescentes.	11
1.10	Iluminación interior.	13

Capítulo 2. Armónicos

2.1	¿Qué son los armónicos?	16
2.2	Trayectoria de los Armónicos	18
2.3	Teoría de los Armónicos	19
2.4	Origen de los Armónicos	20
2.5	Equipos que producen Armónicos	21
2.6	Efecto de los Armónicos en el Sistema Eléctrico	22



2.6.1	Influencia de los Armónicos en el Sistema	22
2.6.2	Efecto en los conductores	24
2.6.3	Efectos Instantáneos	25
2.6.4	Efectos a Largo Plazo	27
2.6.5	Consecuencia de la presencia de Armónicos	30
2.6.6	Armónica Cero	30
2.6.7	Frecuencias de los Armónicos	31
2.6.8	Índices de distorsión Armónica	33
2.6.9	Flujo de potencia Armónico	34
2.6.10	Evitando los Armónicos	34
2.6.11	Recomendaciones para disminuir el Efecto de los armónicos	37

Capitulo 3. Alternativas para el diseño de balastros fluorescentes

3.1	Balastros	42
3.2	Balastros para lámparas fluorescentes	44
3.2.1	Encendido precalentado (ep)	45
3.2.2	Encendido instantáneo (ei).	45
3.2.3	Encendido rápido.	45
3.3	Balastros híbridos para lámparas fluorescentes	46
3.4	Balastros electromagnéticos ahorradores de energía	46
3.5	Balastros electrónicos para lámparas fluorescentes	47
3.6	Parámetros a considerar en la selección de Balastros para lámparas fluorescentes.	50
3.6.1	Requisitos obligatorios	50



Capitulo 4. Filtros

4.1 Filtro pasa bajas.	58
4.2 Filtro Pasa-altas.	59
4.3 Filtro pasa bandas.	61
4.4 Filtros elimina-banda.	62
4.5 Implementación del filtro para el balastro fluorescente tipo T8	63
4.4.1 Material Utilizado	63
4.4.3 Consideraciones para el Analizador de Redes.	64
4.4.4 Desarrollo	64
Conclusiones	79
Glosario de términos	82
Índice de tablas	85
Referencias	89
Anexo A. Especificaciones Multímetro	A.1
Anexo B Especificaciones Analizador de redes	B.1



JUSTIFICACION

Tomando en cuenta los disturbios que ocasionan los armónicos generados por las lámparas fluorescentes, lo que se pretende con este trabajo es dar una posible solución o alternativa a los problemas que estos ocasionan en el Sistema Eléctrico de Distribución y en los equipos eléctricos como son los disparos intempestivos de las protecciones, disminución del tiempo de vida en los aislantes de conductores y calentamiento de los mismos, todo para mejorar la calidad de la energía respecto a la forma de onda de tensión y corriente.

OBJETIVO GENERAL

Proponer el diseño un filtro pasivo para lámparas fluorescentes como una alternativa para mejorar la calidad de la energía en la red eléctrica.

OBJETIVOS PARTICULARES

Diseñar un filtro pasivo basado en el estudio de las ondas sinusoidales para reducir la distorsión armónica total respecto a la onda fundamental.

Disminuir las variaciones de corrientes armónicas en el sistema eléctrico de distribución debido a la presencia de cargas no lineales.



INTRODUCCION

En un sistema de distribución eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 60 Hz, con una tensión y corriente sinusoidal. Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 60 Hz. sobre algunas partes del sistema de distribución o dentro de la instalación de un usuario. El término *componente armónico* o simplemente *armónico*, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en porciento de la fundamental.

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante. Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal adsorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo ϕ respecto a la tensión. Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red.

Los sistemas de iluminación que utilizan lámparas fluorescentes son generadores de armónicos de corriente. Una tasa del 25 % del tercer armónico es observada en ciertos casos. La tasa individual del armónico 3^{er} puede incluso sobrepasar el 100 % para ciertas lámparas compactas modernas y por tanto hay que prestar una atención especial en el cálculo de la sección y la protección del neutro, ya que este conduce la suma de las corrientes de tercera armónica de las tres fases, por lo que puede ser sometido a peligrosos sobrecalentamientos si no es seleccionado adecuadamente.

Los filtros se utilizan para bloquear o atrapar la energía de los armónicos de tal manera que no fluya por los equipos o que no entre al sistema, son elementos cuya impedancia varía con la frecuencia.



También tienen el potencial de crear y amplificar el problema de las armónicas, a menos que cuidadosamente sean localizados y diseñados, en algunos casos un diagnóstico y diseño pobres, origina que el remedio sea peor que lo que se quiere corregir.

Los filtros pasivos son los más simples, más económicos, pero menos flexibles y efectivos para filtrar armónicas. Son elementos puramente pasivos, usados por las empresas como circuitos en paralelo en la entrada de los servicios con problemas de generación de armónicas, evitando de esta manera que entren al sistema de distribución. También los filtros pueden instalarse directamente en un equipo particular donde existe un grave problema de generación de armónicas, evitando de esta manera que circulen en la propia instalación eléctrica del usuario.

La reducción de las armónicas depende sólo de la medición armónica correcta que se está generando en la carga y no es función de la impedancia del sistema. Estos filtros han tenido una mayor aplicación, teniendo la desventaja de ser más caros y de que consumen potencia en cantidades significativas, creando además niveles altos de interferencia electromagnética

Los filtros pasivos desvían las corrientes armónicas I_h por una trayectoria para desviarles del sistema, con esto se deja que solo la corriente de carga fluya al sistema: los filtros pasivos proporcionan una impedancia muy baja en la trayectoria en paralelo.



MARCO MÉTODOLÓGICO

Se realizara un estudio de cómo poder implementar filtros para disminuir o corregir las distorsiones que se presenta en los balastos de las lámparas fluorescentes debido al tipo de carga conectada al sistema (equipo electrónico) provocando una sobrecarga del neutro y a los conductores debido a la 3a armónica que se presenta, en dichos elementos. Todo esto en base a un diseño de un filtro pasivo con el fin de mejorar la calidad del sistema de iluminación, ya que debido al uso de los balastos electrónicos que son utilizados actualmente en la gran mayoría de centros de trabajo, se pueden presentar daños el sistema de iluminación, como son, variaciones de voltaje, calentamiento de cables, mala iluminación en el área de trabajo, y todo lo antes mencionado puede provocar gastos innecesarios por tener un bajo factor de potencia, por reducir las horas-vida de los luminarias y del balastro mismo, así como también repercusiones en la productividad de los empleados (en el caso de oficinas), accidentes laborales .

HIPÓTESIS

Tener una alternativa de corrección de corriente de armónicos como consecuencia de cargas no lineales que afectan al sistema



PIRÁMIDE CONCEPTUAL



CAPITULO

1



Capítulo 1

1. Calidad de la energía eléctrica en sistemas eléctricos de distribución.

1.1 ¿Que es calidad de la energía?

La calidad de la energía es un concepto que indica el grado de pureza de la energía eléctrica, pureza medida según los siguientes parámetros de la señal de tensión en cualquier instante de tiempo: continua, senoidal, frecuencia y amplitud constante.

El término calidad de la energía se ha convertido en uno de los conceptos más sonados en la industria eléctrica desde finales de los 1980's. El concepto refiere a una multitud de disturbios individuales de los sistemas eléctricos de distribución. Los disturbios que caen dentro de esta multitud no son necesariamente nuevos, lo que es nuevo es que los ingenieros están ahora intentando manejar estos problemas de una manera global y no como problemas individuales.

Son cuatro las razones principales para el estudio de la calidad de la energía:

1. El equipo conectado es más sensible a las variaciones de la calidad de la energía que el equipo conectado en el pasado. Muchos de los nuevos equipos contienen controles basados en microprocesadores y dispositivos de electrónica de potencia los cuales son sensibles a muchos tipos de disturbios.
2. El creciente énfasis en la eficiencia de los sistemas eléctricos ha resultado en un continuo incremento en la aplicación de dispositivos de alta eficiencia para reducir pérdidas.



Esto está resultando en un aumento de los niveles de armónicas en los sistemas eléctricos y tiene a mucha gente preocupada respecto al futuro impacto en la capacidad del sistema eléctrico.

3. La creciente advertencia de los problemas de la calidad de la energía por los usuarios finales. Los consumidores de las compañías suministradoras se están informando mejor acerca de tales problemas y obligando a las compañías suministradoras a mejorar la calidad de la energía que entregan.
4. Muchas cosas están ahora interconectadas a través de la red eléctrica. Es un proceso integrado en donde la falla de cualquier componente tiene consecuencias aun más importantes.

El principal ímpetu detrás de estas razones es el aumento de la productividad para los consumidores de las compañías suministradoras.

Puede haber definiciones completamente diferentes para el término calidad de la energía dependiendo del marco de referencia en que se ubique. Por ejemplo, las compañías suministradoras definen la calidad de la energía como la confiabilidad de la red eléctrica y muestran estadísticas demostrando que el sistema es 99.98 % confiable. El diseñador de equipo define la calidad de la energía como aquellas características de la fuente de alimentación que habilitan al equipo para trabajar propiamente. Esto puede ser muy diferente para diferentes diseñadores de equipo. El nivel de calidad de la energía requerido es el nivel al cual resultará la operación propia del equipo para una compañía suministradora en particular. La calidad de la energía, al igual que la calidad en otros bienes y servicios es difícil de cuantificar.



La definición de la calidad de la energía es muy amplia. Pero finalmente es un problema que concierne al consumidor y el punto de vista del consumidor toma entonces importancia, luego entonces; se puede definir como la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicas en la red y variaciones de tensión suministrada al usuario. Además le concierne la estabilidad de la tensión, la frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Debido a la importancia que representa la energía eléctrica en nuestra vida, la cual es usada en toda clase de procesos, es importante contar con una buena calidad de la energía.

Por consiguiente, los disturbios y variaciones del voltaje que suceden en la red eléctrica afectan directamente al usuario.

Los disturbios no solo afectan al equipo de los consumidores, sino que también perjudican la operación de la red de suministro. Los disturbios causan problemas como los que se citan a continuación:

- *Operación incorrecta de controles remotos.*
- *Sobrecalentamiento de cables.*
- *Incremento de las pérdidas reactivas de los transformadores y motores.*
- *Errores de medición.*
- *Operación incorrecta de los sistemas de protección.*
- *Entre otros más.*

Debido a estos problemas, algún componente de un equipo conectado a la red eléctrica puede sufrir un daño considerable al presentarse algún disturbio (situación para la cual dicho equipo no está diseñado) que supere su nivel de aislamiento.



Se puede decir que el objetivo de la calidad de la energía es encontrar caminos efectivos para corregir los disturbios y las variaciones de voltaje en el lado del cliente y, proponer soluciones para corregir las fallas que se presentan en el lado del sistema de las compañías suministradoras de energía eléctrica, para lograr con ello un suministro de energía eléctrica con calidad.

La razón por la que se debe estar interesado en la calidad de la energía es por el aspecto económico. Hay un impacto económico en las compañías suministradoras, sus consumidores y sus proveedores de equipo. La calidad de la energía puede tener un impacto económico directo en muchos consumidores industriales.

Recientemente ha habido un gran énfasis en revitalizar la industria con mas automatización y equipo más moderno, esto usualmente significa que está electrónicamente controlado, es decir; el equipo es más eficiente pero al mismo tiempo, es a menudo mucho más sensible a las variaciones en la fuente de alimentación que sus predecesores electromecánicos. Grandes cantidades de dinero están asociadas a los disturbios en la industria, ya que la salida de operación de una línea de producción que requiere varias horas para operar nuevamente, se traduce en pérdidas económicas.

A las compañías suministradoras también les preocupa el aspecto económico de la calidad de la energía. Lograr las expectativas del consumidor y mantener la confianza del mismo es una gran motivación. Con la gran competencia entre las compañías suministradoras existente, es más importante que nunca. La pérdida de un consumidor frente a otra compañía suministradora puede tener un impacto financiero bastante significativo en la compañía suministradora.



Los consumidores residenciales típicamente no sufren de pérdidas financieras directas o de incapacidad de obtener un beneficio como resultado de muchos problemas de calidad de la energía, pero ellos pueden ser una potente fuerza cuando perciben que la compañía suministradora les está brindando un servicio pobre.

Los proveedores de equipo generalmente están involucrados en un mercado muy competitivo, en el cual los consumidores buscan comprar sus equipos al precio mas bajo. Así, hay un proceder general por agregar características a los equipos sin tener en cuenta los disturbios a los que estará sometido el equipo, a menos que el consumidor especifique lo contrario. Muchos fabricantes de equipo están también inadvertidos del tipo de disturbios que pueden ocurrir en el sistema eléctrico al que conectarán su equipo.

El conocimiento de esta diversidad de eventos concernientes con la calidad de la energía eléctrica brinda el primer paso a la solución de los problemas causados por tales disturbios. Con el apoyo del equipo de medición y control adecuado, se puede lograr la localización de los disturbios, las causas de estos y por ende, las posibles soluciones a estos, para así; lograr el uso eficiente de la energía eléctrica.

1.2 Clasificación de los fenómenos de calidad de la energía.

El termino calidad de la energía aplica a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos en un sistema eléctrico de potencia. El incremento en la aplicación de equipo de electrónica de potencia ha aumentado el interés en la calidad de la energía en los años recientes y este ha sido acompañado por el desarrollo de una terminología especial para describir el fenómeno. En los siguientes párrafos se describen cada uno de los fenómenos individuales que abarca el término calidad de la energía.



La terminología presentada aquí (Tabla 1.1) refleja los esfuerzos de la comunidad científica internacional para estandarizar las definiciones de calidad de la energía.

1. Fenómenos de Baja Frecuencia Conducidos	4. Fenómenos de Alta Frecuencia Radiados
<ul style="list-style-type: none"> • Armónicas e Interarmónicas. • Fluctuaciones de Tensión. • Interrupciones y Dips de Voltaje. • Desbanlace de Voltaje. • Variaciones de Frecuencia. • Voltajes Inducidos de Baja Frecuencia. • CD en Redes de AC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Campos Magnéticos. • Campos Eléctricos. • Campos Electromagnéticos. • Onda Continua. • Transitorios.
2. Fenómenos de Baja Frecuencia Radiados	5. Fenómeno de Descarga Electrostática (ESD)
<ul style="list-style-type: none"> • Campos Magnéticos. • Campos Eléctricos. 	
3. Fenómenos de Alta Frecuencia Conducidos	6. Pulso Nuclear Electromagnético (NEMP)
<ul style="list-style-type: none"> • Ondas Continuas de Voltajes o Corrientes Inducidas. • Transitorios Oscilatorios. 	

Tabla 1.1 Principales fenómenos causados por disturbios electromagnéticos.

1.3 Fenómeno de baja frecuencia conocidos: Armónicas.

Las armónicas son tensiones o corrientes sinusoidales que tiene frecuencias múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema eléctrico (50 ó 60 Hz).



La distorsión de formas de onda puede ser descompuesta en la suma de una señal a frecuencia fundamental y señales armónicas cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la fundamental.

En el alumbrado la mayoría de los balastos electromagnéticos están siendo reemplazados por balastos de estado sólido, las cuales generan un 30% más de armónicas en los circuitos de alumbrado. Como ejemplo se tiene que las armónicas de alumbrado, equipo electrónico y de oficina provocan una sobrecarga del neutro debido a la 3a armónica principalmente, en siguientes capítulos se hará mención sobre este tipo de fenómenos y como es que afectan en cierto modo al Sistema de Distribución.

Debido a esto, este trabajo se basa en el uso de las nuevas tecnologías, como los son los balastos electrónicos utilizados en las lámparas fluorescentes, y como intervienen en el desempeño y la eficiencia del sistema eléctrico, esto es debido a que contienen cargas no lineales las cuales generan distorsiones armónicas en nuestro sistema de iluminación, y es por ello que este se vea afectado en las condiciones optimas de una buen sistema de iluminación, es por ello que debemos mencionar cuales son estas condiciones y definir que es un sistema de iluminación.

1.4 La iluminación.

Podemos definir que iluminación, es la luz cayendo sobre una superficie y su unidad son los pies – candela; también se puede decir que la iluminación de una superficie es el flujo luminoso que cubre cada unidad de la misma. La iluminación se denota con la letra E y se mide en lux (*Ec. 1*).

$$E = \frac{\text{flujo luminoso}}{\text{unidad de superficie}} = \frac{\phi}{S} \quad \text{Ec. 1}$$



La iluminación es lo principal para un proyecto de instalación de alumbrado y esta se mide con un LUXÓMETRO.

1.5 Clasificación de los sistemas de iluminación.

❖ Según la proyección del ángulo de flujo luminoso hacia el objeto:

Directa: Con una dirección al objeto de 100% a 90% y una dirección contraria de 0% a 10%.

Semi-directa: Con una dirección al objeto de 90% a 60% y una dirección contraria de 10% a 40%.

Mixta: Con una dirección al objeto de 60% a 40% y una dirección contraria de 40% a 60%.

Semi-indirecta: Con una dirección al objeto de 40% a 10% y una dirección contraria 60% a 90%

Indirecta: Con una dirección al objeto de 10% a 0% y una dirección contraria de 90% a 100%.

❖ Según las aplicaciones que se indican:

Alumbrado general: Es el método más utilizado en salones de clase, oficinas, tiendas hogares etc. y se basa en la iluminación directa sobre toda el área a iluminar.

Alumbrado localizado: Este alumbrado es el que se coloca cerca de los puntos a iluminar, ejemplo: La iluminación de área limitadas, generalmente en ausencia de la iluminación general en especial escaparates, vitrinas y otros.



Alumbrado suplementario: Este se utiliza cuando se requiere destacar un objeto o una zona en particular, estas se sitúan en la inmediata vecindad del punto o zona a destacar y se integra con la iluminación general, ejemplo: Iluminación de dibujos, escaparates, escritorios, cuadros y otros.

1.6 El flujo luminoso.

Es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo, y la unidad de medida de este es “Lumen”. El flujo luminoso se denota por la letra griega Φ .

1.7 Requisitos para una buena iluminación.

- 1) Nivel de iluminación respectos a las características y destino del local.
- 2) Tipo de iluminación
- 3) Tipo de lámpara y tipo de luminaria que conviene adoptar en relación con las exigencias fotométricas, costo de la instalación, condiciones de funcionamiento y posibilidad de llevar.

1.8 Nivel de iluminación

Cuando se trata de una iluminación general se toma como referencia el nivel de iluminación en un plano horizontal situado a una altura de 0.80 a 0.90 mts. Sobre el piso. La elección del nivel de iluminación es fundamental para una buena visión.



1.9 Tipos de lámparas

1.9.1 Lámparas incandescentes

Son aplicadas para la iluminación general de viviendas y para iluminación localizada de viviendas, oficinas y comercios normalmente se recomienda su uso hasta una altura de 3 a 4 metros.

Este tipo de lámparas tiene sus ventajas en el encendido inmediato sin necesidad de usar equipo auxiliar; dimensiones reducidas y costo poco elevado; sin limitaciones en cuanto a la posición de funcionamiento.

Se trata de unas lámparas que siguen teniendo aceptación en la iluminación doméstica debido a su bajo costo y pequeño tamaño.

Con todo, su baja eficiencia genera costos de explotación muy altos en la iluminación comercial e industrial, por lo que normalmente se prefieren las lámparas de descarga. Las lámparas incandescentes todavía se utilizan cuando la atenuación de la luz es una característica de control conveniente, ya que resulta fácil atenuarlas reduciendo la tensión de alimentación.

1.9.2 Lámparas fluorescentes

Son aplicadas para la iluminación general tanto en locales comerciales como en oficinas. Se instala normalmente a una altura de 3 a 6 metros.

Tiene ventajas varias, una buena eficiencia luminosa y por lo tanto de bajo costo, además de un buen y óptimo rendimiento cromático, elevada duración de vida media y no tiene limitaciones en cuanto a la posición de funcionamiento.

Las lámparas fluorescentes necesitan equipo de control externo para efectuar el encendido y para regular la corriente de la lámpara (Fig. 1.2). Además de la pequeña cantidad de vapor de mercurio. La baja presión del mercurio genera una descarga de luz de color azul pálido. La mayor parte de la radiación está en la región ultravioleta a 254 nanómetros (nm), una frecuencia de radiación característica del mercurio. En el interior de la pared del tubo hay un fino revestimiento fosfórico, que absorbe los rayos ultravioleta e irradia la energía en forma de luz visible.

El color de la luz viene determinado por el revestimiento fosfórico (Fig. 1.1). Existe toda una gama de materiales fosfóricos con diversas características de coloración y reproducción del color.

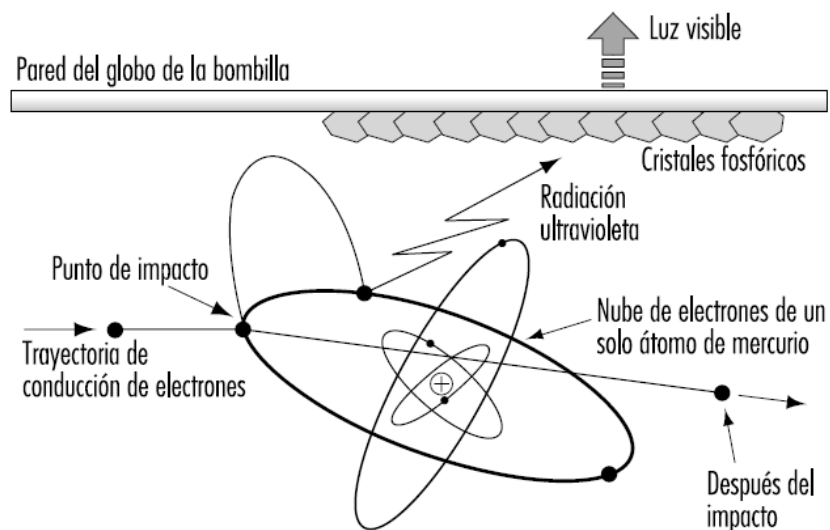


Fig. 1.1 Principio de funcionamiento de una lámpara fluorescente

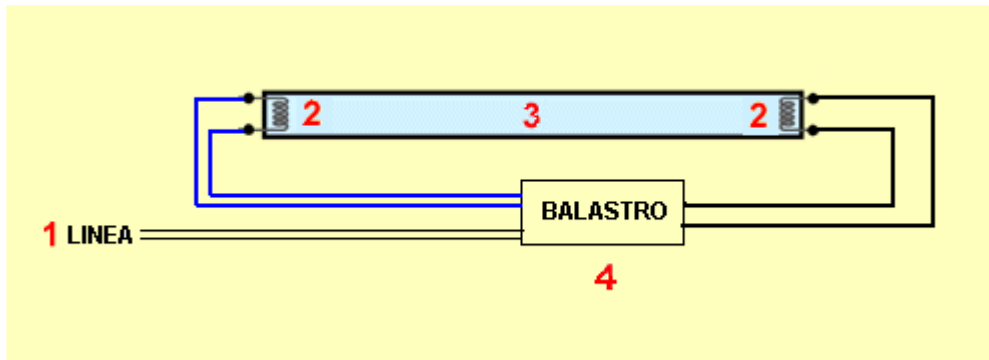


Fig. 1.2 Esquema del circuito eléctrico de una lámpara fluorescente de 17 watts de potencia tipo T-8

1. Entrada de la corriente alterna (LINEA).
2. Filamentos de tungsteno.
3. Tubo de descarga de luz fluorescente.
4. Balastro.

Existen varios tipos de lámparas fluorescentes, las más utilizadas en los lugares de trabajo son de tipo T12 y T8. En la figura 1.3 se pueden observar el tipo de lámparas fluorescentes, y su encendido.

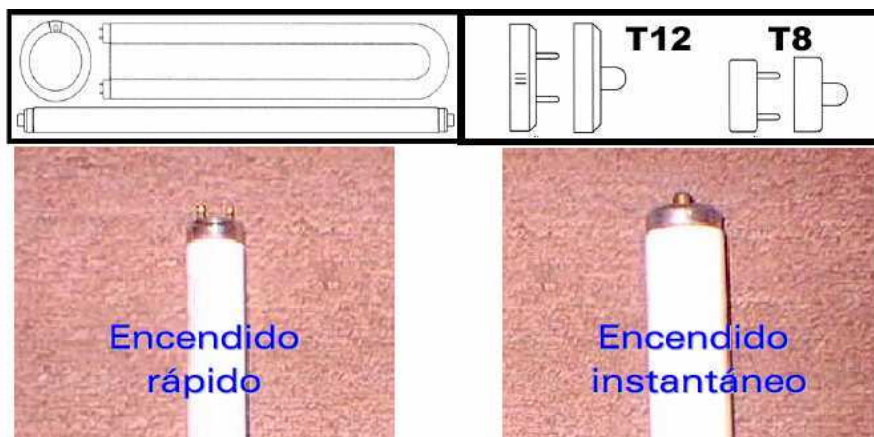


Fig. 1.3 Tipo de lámparas fluorescentes

1.10 Iluminación interior.

En la actualidad, los centros laborales y lugares en que vivimos o nos encontramos, son algo más que un mero lugar de trabajo u ocio, son entornos en los que las personas y sus necesidades deben ser puntos de máxima atención para el diseñador de iluminación.



Por lo tanto se exige que las soluciones tomadas en una instalación de iluminación sean parte de un conjunto, soluciones que generen ambientes agradables, ergonómicamente correctos y energéticamente racionales.

Los factores fundamentales que se deben tener en cuenta al realizar el diseño de una instalación son los siguientes:

- Iluminancias requeridas (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie)
- Uniformidad de la repartición de las iluminancias.
- Limitación de deslumbramiento
- Limitación del contraste de luminancias.
- Color de la luz y la reproducción cromática
- Selección del tipo de iluminación, de las fuentes de luz y de las luminarias.

Por lo tanto es importante tener en cuenta la cantidad y calidad de luz necesaria, siempre en función de la dependencia que se va a iluminar y de la actividad que en ella se realizará.

Como elementos de un sistema de iluminación tenemos:

- ❖ Fuente de luz. Tipo de lámpara utilizada, que nos permitirá conocer las necesidades eléctricas.
- ❖ Luminaria. Sirve para aumentar el flujo luminoso, evitar el deslumbramiento y viene condicionada por el tipo de iluminación y fuente de luz escogida.
- ❖ Sistema de control y regulación de la luminaria.

CAPITULO

2



Capítulo 2

2. Armónicos

2.1 ¿Qué son los armónicos?

Los armónicos son distorsiones de las ondas sinusoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 60 Hz en México. Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 60 Hz sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un usuario.

En la Figura 2.1 se observa la descomposición de una onda distorsionada en una onda sinusoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) más una onda de frecuencia distinta. El término componente armónico o simplemente armónico, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en por ciento de la fundamental.

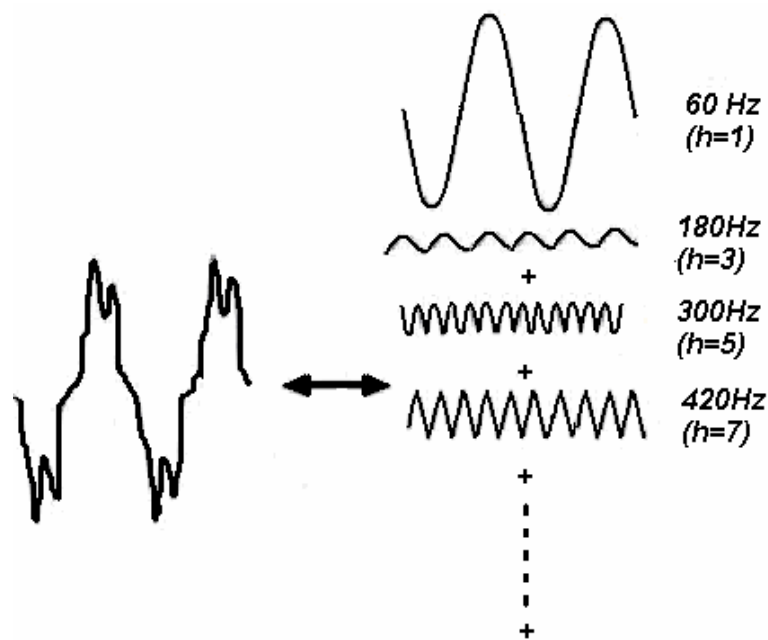


Fig. 2.1 Descomposición de onda distorsionada en una sinusoidal

Los armónicos se definen habitualmente con los dos datos más importantes que les caracterizan, que son:

- Su amplitud: hace referencia al valor de la tensión o intensidad del armónico.
- Su orden: hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental (60 Hz). Así, un armónico de orden 3 tiene una frecuencia 3 veces superior a la fundamental, es decir $3 * 60 \text{ Hz} = 180 \text{ Hz}$.

El orden el armónico, también referido como el rango del armónico, es la razón entre la frecuencia de un armónico f_n y la frecuencia del fundamental de 60 Hz (Ec. 2).

$$n = \frac{f_n}{f_1} \text{ (Por principio, la fundamental } f_1 \text{ tiene rango 1).} \quad (\text{Ec. 2})$$

2.2 Trayectoria De Los Armónicos

Toda corriente eléctrica fluye por donde se le presenta menor resistencia a su paso. Por esta razón las corrientes armónicas siguen trayectorias distintas, pues se tiene que las impedancias de los sistemas varían según la frecuencia. Donde se tiene que la reactancia inductiva se incrementa con la frecuencia y la resistencia se incrementa en menor medida, mientras que la reactancia capacitiva disminuye con la frecuencia. Así las armónicas fluyen hacia donde se le presenta menor resistencia a su paso (Figura 2.2).

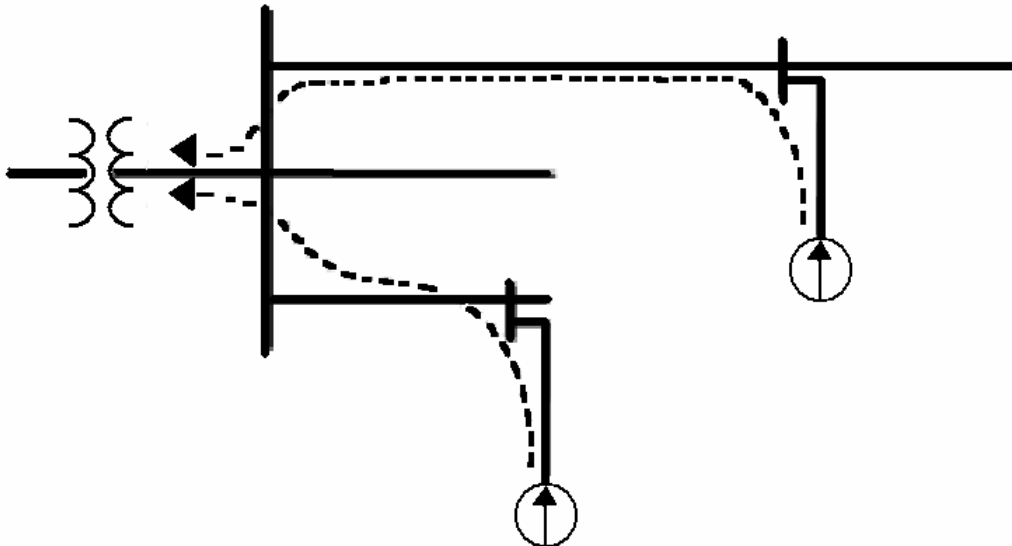


Fig. 2.2 Trayectoria de las armónicas en un sistema inductivo

Pero si al sistema de la Figura 2.2 se le incorpora un banco de capacitores como se muestra en la figura 2.3, da lugar a unas trayectorias distintas para las armónicas.

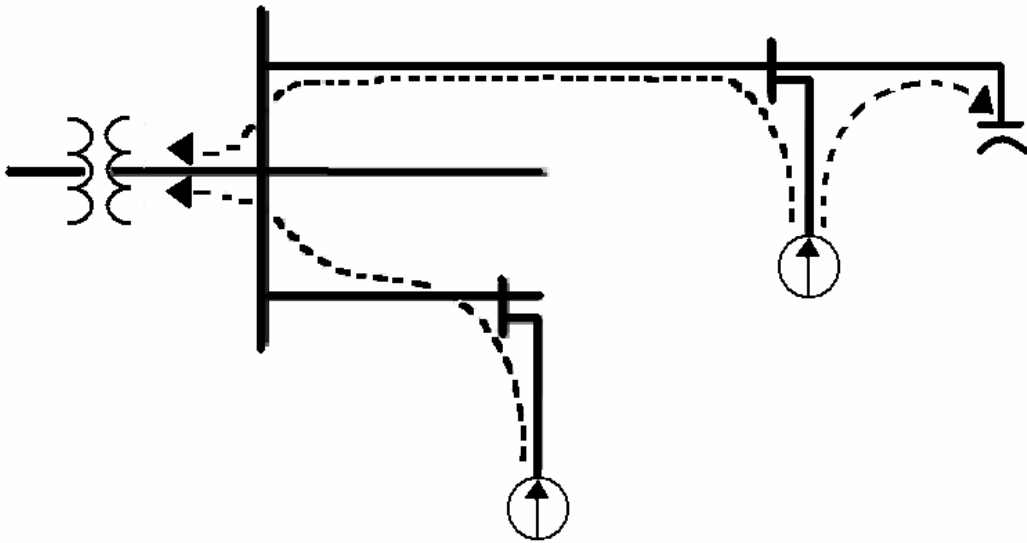


Fig. 2.3 Efecto de los capacitores en las trayectorias de las armónicas

La trayectoria que siguen las armónicas también depende del tipo de sistemas, ya sean un sistema monofásico o trifásico, y también en las conexiones de los transformadores que se encuentra a su paso

2.3 Teoría de los Armónicos

Cualquier onda no senoidal puede ser representada como la suma de ondas senoidales (armónicos) teniendo en cuenta que su frecuencia corresponde a un múltiplo de la frecuencia fundamental (en el caso de la red: 60Hz), Esto según la relación:

$$v(t) = V_0 + \sum_{k=1}^{\infty} V_k \text{sen}(\omega_k t + \varphi_k) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

V_0 = Valor medio de $v(t)$ (**onda en estudio**).

V_1 = Amplitud de la fundamental de $v(t)$.

V_k = Amplitud del armónico de orden k de $v(t)$

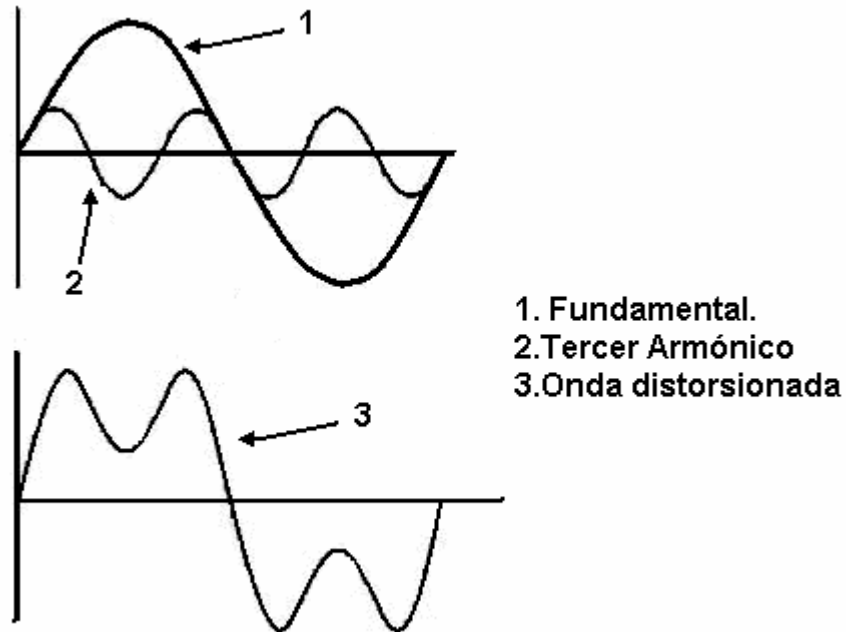


Fig. 2.4. Comparación de las armónicas con respecto a la fundamental

2.4 Origen de los Armónicos

Los armónicos son producidos por cargas no lineales, esto es que su impedancia no es constante. Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal adsorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo φ respecto a la tensión.

Existen dos causas por las que se generan los armónicos:

La primera es simplemente las cargas no lineales en las que la corriente que fluye por ellas no es proporcional a la tensión. Como resultado de esto, cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia.



Balastos, reguladores y otros equipos conectados al sistema pueden presentar un comportamiento no lineal y ciertos tipos de bancos de transformadores trifásicos conectados en Y – Y , con cargas desbalanceadas o con problemas en su puesta a tierra. Invariablemente esta categoría de elementos generadores de armónicos, lo harán siempre que estén energizados con una tensión alterna. Estas son las fuentes originales de armónicos que se generan sobre el sistema de potencia.

El segundo tipo de elementos que pueden generar armónicos son aquellos que tienen una impedancia dependiente de la frecuencia.

2.5 Equipos que producen Armónicos

- Convertidores Electrónicos de Potencia: *Equipos de Computación, Control de Luminarias, UPS, Variadores Estáticos de Velocidad, PLC´s, Control de Motores, Televisores, Microondas, Fax, Fotocopiadoras, Impresoras, etc.*
- Equipos con Arqueo de Electricidad: *Hornos de Fundición, Balastos Electrónicos, Equipos de Soldadura Eléctrica, Sistemas de Tracción Eléctrica.*
- Equipos Ferromagnéticos: *Transformadores Operando Cerca del Nivel de Saturación, Balastos Magnéticos.*

2.6 Efecto de los Armónicos en el Sistema Eléctrico

2.6.1 Armónicos de Corriente

Una onda no sinusoidal pura está formada por una onda fundamental a la que superponen ondas de frecuencia múltiplos de la frecuencia fundamental (Fig. 2.5). Estas ondas superpuestas reciben el nombre de armónicos de orden superior.

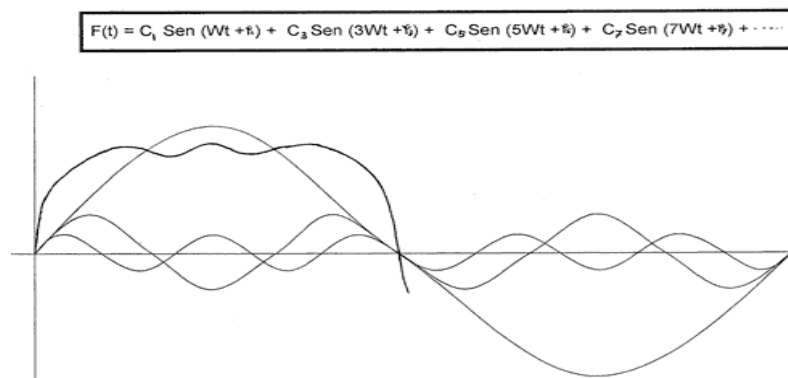


Fig. 2.5 Ondas de armónicas con respecto a la fundamental

Las distorsiones armónicas de corriente distorsionan la onda de tensión al interactuar con la impedancia del sistema originando la reducción de la vida útil en motores y causando la operación errática de equipos electrónicos (Fig. 2.6).

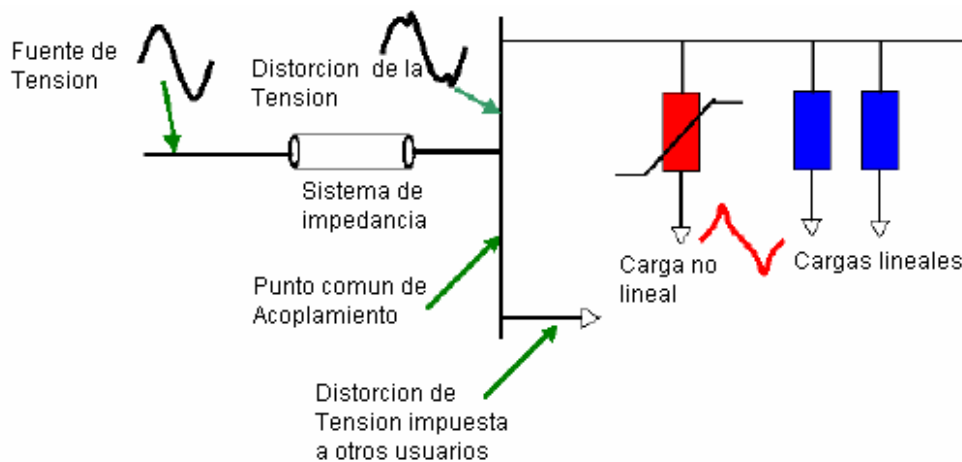


Fig. 2.6. Inyección de Armónicos al sistema



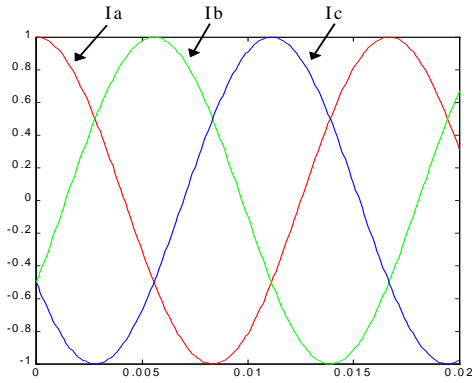
Armónico	Secuencia.	
	Frecuencia (Hz)	Secuencia
0 (DC)	0	
1 (Fundamental)	60	+
2	120	-
3	180	0
4	240	+
5	300	-
6	360	0
7	420	+
8	480	-
9	540	0
10	600	+
11	660	-

Tabla 2.1 Relación de la armónica con respecto a la frecuencia y a las secuencia del sistema

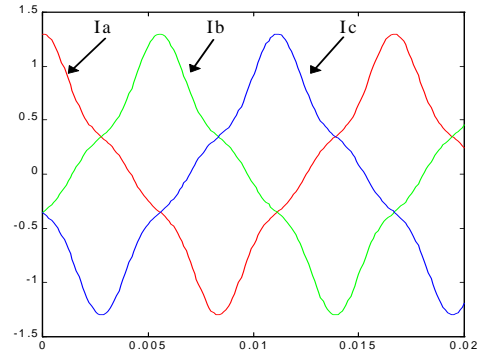
Secuencia	1	2	0	1	2	0	1	2
Armónica	1	2	3	4	5	6	7	8

Tabla 2.2 Relación entre las secuencias y las armónicas

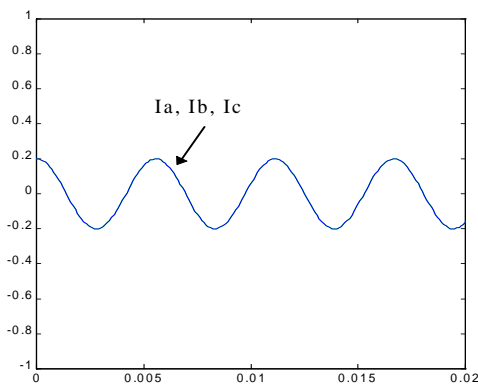
De esta manera el comportamiento de las armónicas es similar al comportamiento de las secuencias (Tablas 2.1 y 2.2). Es por esta razón que ante la presencia de armónicas en la corriente del sistema, se tengan corrientes que circulan de una manera similar a las corrientes de secuencia (Fig. 2.7).



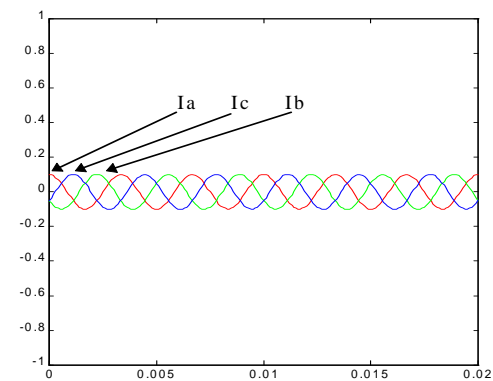
2.7.a) Fundamental (SEC. positiva). Sin armónicas



2.7.b) Fundamental (SEC. positiva). Con armónicas



2.7.c) Tercera armónica (sec. cero)



2.7.d) Descomposición de una señal

Fig. 2.7 Relación entre las armónicas y las componentes de secuencia

2.6.2 Efectos en Conductores

Las corrientes armónicas producen pérdidas en las líneas. Los conductores experimentan un calentamiento superior al habitual por efecto Joule debido a que el efecto piel se agrava al aumentar la frecuencia. La solución es aumentar la sección de los conductores. Sin embargo, el sobredimensionamiento de los conductores de fase no es necesario si éstos han sido bien calculados.



Las pérdidas son incrementadas en cables que conducen corrientes armónicas, lo que incrementa la temperatura en los mismos. Las causas de las pérdidas adicionales incluyen:

- Un incremento en la resistencia aparente del conductor con la frecuencia, debido al efecto pelicular.
- Un aumento del valor eficaz de la corriente para una misma potencia activa consumida.
- Un incremento de las pérdidas dieléctricas en el aislamiento con la frecuencia, si el cable es sometido a distorsiones de tensión no despreciables.

El conductor neutro es una notable excepción ya que en él se suman los armónicos “triplen” ($6n-3$) de secuencia cero (3° , 9° , 15° , 21°). Estas corrientes pueden crear caídas de tensión importantes a lo largo del neutro, lo que conlleva diferencias de potencial considerables entre éste y el conductor de protección que provocan errores de funcionamiento en los receptores.

2.6.3 Efectos instantáneos

Se producen armónicos de tensión que pueden distorsionar los controles usados en los sistemas electrónicos. Estos pueden, por ejemplo afectar las condiciones de conmutación de los tiristores por el desplazamiento del cruce por cero de la onda de voltaje.

Las fuerzas electrodinámicas producidas por las corrientes instantáneas asociadas con las corrientes armónicas causan vibraciones y ruido, especialmente en equipos electromagnéticos (transformadores, reactores, entre otros).



Torques mecánicos pulsantes, debido a campos de armónicos rotatorios pueden producir vibraciones en máquinas rotatorias.

Se observan disturbios cuando líneas de comunicación y control son distribuidas a lo largo de líneas de distribución eléctricas que conducen corrientes distorsionadas. Parámetros que deben tenerse en cuenta incluyen: la longitud que se encuentran dichas líneas en paralelo, las distancias entre los dos circuitos y las frecuencias armónicas (el acoplamiento aumenta con la frecuencia).

Los armónicos son causantes de numerosos problemas de operación en los sistemas de protección. Entre ellos esta la operación incorrecta de fusibles, de interruptores (breakers) y equipos y/o sistemas digitales de protección.

Para el caso de equipos protegidos contra sobretensiones cuyos sistemas de protección también estén diseñados para operar con tensiones sinusoidales, estos pueden operar incorrectamente ante la aparición de formas de onda no sinusoidales. Esta operación incorrecta puede ir desde la sobreprotección del equipo hasta la desprotección del mismo por la no operación ante una forma de onda que podría dañarlo de forma severa. El caso típico se presenta ante formas de onda que presentan picos agudos. Si el dispositivo de medición esta diseñado para responder ante valores **rms** de la forma de onda, entonces estos cambios abruptos pudieran pasar sin ser detectados y conllevarían a la desprotección del equipo ante aquellos picos agudos dañinos, que no provoquen un aumento notable de la magnitud medio cuadrática censada. También pudiera ocurrir el caso contrario, el disparo ante valores no dañinos para el equipo protegido.

En estos casos el ajuste de la protección deberá depender de las características de la forma de onda: tensiones pico y *rms*, tiempo de crecimiento de la onda, entre otros. Las protecciones convencionales no tienen en cuenta todos estos parámetros y lo que toman como base del proceso de protección, lo hacen sobre la suposición de que la forma de onda es puramente sinusoidal lo cual puede ser aceptado para algunas formas de onda pero incorrecto para otras que pueden ser dañinas.

2.6.4 Efectos a largo plazo

El principal efecto a largo plazo de los armónicos es el calentamiento.

Calentamiento de capacitores: Las pérdidas causadas por calentamiento son debidas a dos fenómenos: conducción e histéresis en el dieléctrico. Como una primera aproximación, ellas son proporcionales al cuadrado del voltaje aplicado para conducción y a la frecuencia para histéresis. Los capacitores son por consiguiente sensibles a sobrecargas, tanto debido a un excesivo voltaje a la frecuencia fundamental o a la presencia de tensiones armónicas. Estas pérdidas son definidas por el ángulo de pérdida (δ) del capacitor cuya tangente es la razón entre las pérdidas y la energía reactiva producida, esto se representa en la figura 2.8 y en la Ecuación 4

$$\tan \delta = \frac{P}{Q} \quad (\text{Ec } 4)$$

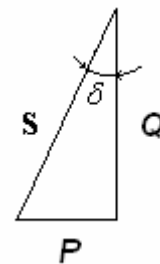


Fig.2.8 Triángulo relacionado con la potencia del capacitor, (Potencia activa (P),
Reactiva (Q))



Calentamiento de equipos y cables: Las pérdidas son incrementadas en cables que conducen corrientes armónicas, lo que incrementa la temperatura en los mismos. Las causas de las pérdidas adicionales incluyen:

- Un incremento en la resistencia aparente del conductor con la frecuencia, debido al efecto pelicular.
- Un aumento del valor eficaz de la corriente para una misma potencia activa consumida.
- Un incremento de las pérdidas dieléctricas en el aislamiento con la frecuencia, si el cable es sometido a distorsiones de tensión no despreciables.
- El fenómeno relacionado con la proximidad, de envolventes, de pantallas (conductores revestidos) puestas a tierra en ambos extremos, entre otros.

De una forma general todos los equipos sometidos a tensiones o atravesados por corrientes armónicas, sufren más pérdidas y deberán ser objeto de una eventual disminución de clase. Este sobredimensionamiento no tiene en cuenta sin embargo el aumento del calentamiento debido al efecto pelicular en los conductores (Tabla 2.3).

Muchas de las anomalías que ocasiona la circulación de corrientes de frecuencias que no son propiamente del sistema, a través de él y de los equipos conectados, causando en ocasiones problemas de operación, tanto a la empresa suministradora como al usuario, se deben a las siguientes razones:

1. Las frecuencias del flujo de potencia de tensiones y corrientes sobrepuestas a las ondas de flujo de 60 Hz, originan altas tensiones, esfuerzos en los aislamientos, esfuerzos térmicos e incrementan las pérdidas eléctricas.



2. Muchos aparatos eléctricos son diseñados para aceptar y operar correctamente en potencias de 60 Hz, pero no responden bien a cantidades significantes de potencia a diferentes frecuencias. Esto puede causar ruido en el equipo eléctrico, problemas mecánicos y en el peor de los casos falla del equipo.
3. Los armónicos generados en un sistema eléctrico pueden crear niveles altos de ruido eléctrico que interfieran con las líneas telefónicas cercanas.
4. La presencia de frecuencias diferentes a la nominal en la tensión y en la corriente, regularmente no son detectables por un monitoreo normal, por mediciones o por el equipo de control; por lo que su presencia no se nota. Por ejemplo los medidores residenciales monofásicos no detectan frecuencias mucho más arriba de 6 ciclos. Frecuentemente la primera indicación de la presencia significativa de armónicos es cuando causan problemas de operación o fallas del equipo.

Efecto de los Armónicos	Causa	Consecuencia
<i>Sobre los conductores</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Las intensidades armónicas provocan el aumento de la IRMS - El efecto pelicular (efecto "piel") reduce la sección efectiva de los conductores a medida que aumenta la frecuencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Disparos imprevistos de las protecciones. - Sobrecalentamiento de los conductores
<i>Sobre el conductor del Neutro</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando existe una carga trifásica mas neutro equilibrado que genera armónicos impares múltiplos de 3. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cierre de los armónicos homopolares que provoca calentamiento y sobre intensidades

Tabla 2.3 Muestra de algunos efectos dañinos que ocasionan los armónicos sobre los elementos eléctricos



2.6.5 Consecuencia De La Presencia De Armónicos

En general, los armónicos pares, 2^o, 4^o etc., no causan problemas. Los armónicos impares, quedan añadidos al neutro (en lugar de cancelarse unos con otros) y este motivo lleva a crear una condición de sobrecalentamiento que es extremadamente peligrosa. Los diseñadores deben tener en consideración tres normas cuando diseñan sistemas de distribución que pueda contener armónicos en la corriente:

- El conductor de neutro debe tener sección transversal.
- El transformador de distribución debe disponer de un sistema de refrigeración extra para poder seguir trabajando por encima de su capacidad de trabajo cuando no existen armónicos. Esto es necesario porque la corriente de los armónicos en el conductor de neutro del circuito secundario circula en la conexión triángulo del primario. Esta corriente armónica circulante calienta el transformador.

Las corrientes producidas por los armónicos se reflejan en el circuito del primario y continúan hasta la fuente de energía. Esto causa distorsión en la tensión y los condensadores de potencia reactiva (para corregir el bajo factor de potencia) pueden ser fácilmente sobrecargados. El 5^o y el 11^o armónico contrarrestan la corriente circulante a través del motor acortando la vida media del motor. En general, el armónico de orden mayor, es el de menor contenido energético.

2.6.6 Armónica Cero

El flujo de corriente directa es la armónica de frecuencia cero, la contaminación con corriente directa de un sistema o potencia es parte de un estudio teórico completo de todas las armónicas, ya sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia.



Generalmente la presencia de tensión o corriente directa es una señal de una pobre puesta a tierra, severo desbalance de carga o daño de algún equipo. Aún con la presencia de una pequeña señal, existe el problema de puesta a tierra, flujo en el conductor neutro o desbalance interno.

Como las frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, las armónicas en sus diferentes frecuencias siempre estarán en fase con la fundamental y su impacto es básicamente el mismo. Esto significa que la distorsión armónica que se presenta en la onda de 50 ó 60 Hz es la misma.

2.6.7 Frecuencias de los Armónicos

Las frecuencias de los armónicos que más problemas generan en el flujo de potencia, son aquellas que son múltiplos enteros de la fundamental como son: 120, 180, 240, 300 y 360 Hz y las que siguen. Obsérvese que la frecuencia del sistema es la primera armónica (Fig. 2.9). En contraste las frecuencias no armónicas, por ejemplo 217 Hz, generalmente son generadas e inyectadas al sistema de transmisión y distribución con algún objetivo especial. Estos casos son producidos deliberadamente o en algunos casos inadvertidamente. Es más difícil detectar una armónica que no es múltiplo de la frecuencia fundamental, porque no altera la longitud de onda de la misma manera, esto significa que no se ve un cambio estable en el osciloscopio cuando se estudia la onda, sin embargo, una vez que se detecta es mucho más fácil identificar su origen. La figura 2.9 ilustra la onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónicos.

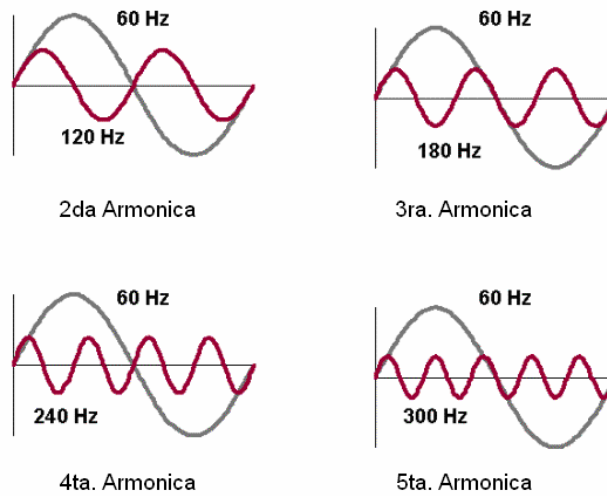


Fig 2.9 La Onda Senoidal a la Frecuencia Fundamental (60 Hz) y Armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz).

La Figura 2.10 muestra como una onda deformada puede ser descompuesta en sus componentes armónicas. La onda deformada se compone de la fundamental combinada con las componentes armónicas de 3er y 5to orden.

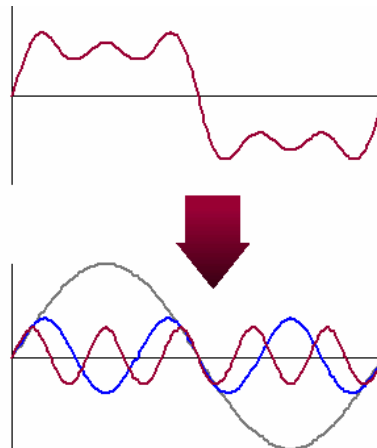


Fig. 2.10 Onda deformada se descompone en armónicos

La Onda Deformada compuesta por la superposición de una fundamental a 60 Hz y menores armónicos de tercer y quinto orden.



2.6.8 Índices de distorsión Armónica

La distorsión armónica en los sistemas de potencia no es un fenómeno nuevo - esfuerzos para limitarlo a proporciones aceptables ha sido el interés de ingenieros de potencia desde los primeros días de los sistemas de distribución. Entonces, la distorsión era ocasionada típicamente por la saturación magnética de transformadores o por ciertas cargas industriales, tales como hornos o soldadores de arco. El mayor interés eran los efectos de los armónicos sobre motores sincrónicos y de inducción, interferencia telefónica, y fallas en capacitores de potencia. En el pasado, los problemas de armónicas podían ser tolerados porque los equipos tenían un diseño conservador y las conexiones Estrella aterrizada, Delta de los transformadores se usaron juiciosamente. La distorsión de la sinusoide fundamental, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz, la onda armónica tiene una frecuencia expresada por; $f_{armónica} = n * 60Hz$ donde n es un entero. Los armónicos son caracterizados frecuentemente por un factor de distorsión armónica (DF) definido como (Ec. 4):

$$DF = \frac{\sqrt{\text{Suma de los cuadrados de las amplitudes de las armónicas}}}{\text{Amplitud de la fundamental}} \quad (Ec.5)$$

El factor de distorsión puede usarse para caracterizar tanto la distorsión en las ondas de voltaje como de corriente. Los factores totales de distorsión armónica pueden especificarse para una gama de armónicos tal como el segundo a través del decimoprimer armónico. El factor de distorsión también puede ser obtenido para armónicos sencillos o de pequeña magnitud. La distorsión armónica total (THD) es el factor de distorsión que incluye a todos los armónicos relevantes (típicamente tomado como el segundo a través del quincuagésimo armónico).



2.6.9 Flujo de potencia Armónico

El flujo de potencia armónico de sus fuentes de generación a través del sistema de potencia hacia las cargas, obedece exactamente las mismas leyes que para la frecuencia de 50 y 60 Hz. Los armónicos atraviesan los transformadores, motores de todo tipo y la mayoría de otros equipos con una pequeña atenuación. La excepción son los equipos construidos específicamente para bloquear o adsorber la distorsión armónica, como ciertos tipos de combinación de transformadores conectados en delta-estrella, que fuerzan a ciertas armónicas a cancelarse ellas mismas por diferencias de fase. Adicionalmente los alimentadores con capacitores serie o paralelo, situaciones con severo desbalance, líneas largas con significativa capacitancia serie pueden amplificar las armónicas. La capacitancia causa resonancia a ciertas frecuencias, teniendo como resultado que estas líneas puedan llevar corrientes armónicas de varias veces la magnitud que les fue inyectada

2.6.10 Evitando los Armónicos

Las soluciones a dicho problema se realizan en forma jerarquizada; primero en forma particular, resolviendo el problema de inyección de armónicos por parte del usuario al sistema (diseñando y ubicando filtros en el lado de baja tensión, usando el transformador como barrera); y segundo, resolviendo el problema en forma global, buscando reducir las pérdidas y mantener los niveles armónicos por debajo de los límites permitidos, en este caso, se trata de un problema de optimización donde se determina la ubicación de los compensadores (condensadores, filtros pasivos, etc). Independientemente del tipo de compensador utilizado para reducir los niveles de armónicos en el sistema o en el usuario, se debe analizar la forma en que el compensador afecta a la impedancia al variar la frecuencia, esto con el fin de determinar resonancias serie (baja impedancia al paso de corriente) y paralelo (baja admitancia a la tensión de alimentación).



Como en cualquier problema la mejor solución para evitar un efecto no es mitigarlo, sino eliminar la causa que lo produce. En nuestro caso, eliminar los armónicos de la red. Actualmente los sistemas más empleados son:

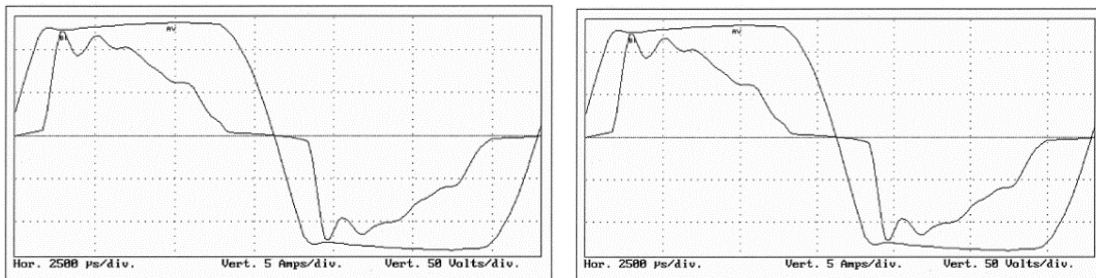
Filtros pasivos, los más populares, contruidos basados en condensadores e inductancias ajustados para bloquear o absorber determinados armónicos. Las aplicaciones en que son empleados deben estudiarse con cuidado para asegurar su compatibilidad con el resto del sistema. Pueden llegar a ser excesivamente voluminosos y crear efectos indeseables como transitorios y resonancias.

Los filtros armónicos pueden usarse para:

- Mejorar el factor de potencia
- Reducir armónicos
- Reducir corrientes de retorno por el neutro en sistemas trifásicos
- Minimizar el impacto sobre los transformadores de distribución.
- Generador depósitos de los efectos armónicos.
- Liberar capacidad de distribución.

Los filtros pasivos, de armónicas, vienen en una amplia variedad. En algunos casos, ellos no son más que un reactor de línea. En otros casos, pueden usar filtros resonantes en serie o paralelos (uno solo o ambos simultáneamente) para atrapar o resistir a los armónicos. Un filtro serie (con la carga en serie) que usa componentes en paralelo (inductancias y capacitancias en paralelo) se conoce como un “relector (repelente) de corriente”. La “Q” del filtro determina el ancho de banda. Un filtro paralelo (paralelo con la carga) usando componentes en serie (inductancias y capacitancias en serie) es un aceptador de corriente (Fig.2.11).

Cuando se sintonizan adecuadamente con la carga estática, los filtros pasivos se convierten en un medio efectivo para controlar los armónicos.



2.11.a) Entrada a un filtro pasivo

2.11.b) Salida de un filtro pasivo.

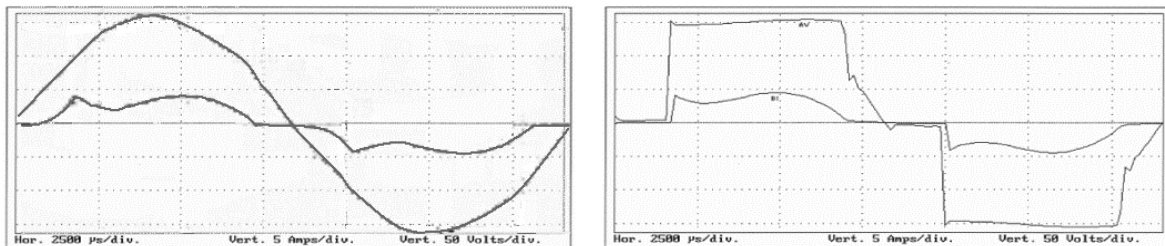
Fig. 2.11 Señal de Tensión y corriente dentro y fuera de un filtro pasivo.

Algunos filtros agregan aspectos útiles tales como regulación de tensión y corrección momentánea por “sags” de tensión. En las áreas con alta incidencia de tormentas, una combinación de filtro armónico y estabilizador de tensión puede resultar beneficiosa tanto para la compañía de electricidad como para la carga. La evaluación y la planificación cuidadosa del tipo de filtro que se utilizará para controlar problemas con armónicos es esencial. Una de manera para reducir problemas armónicas está con la prevención activa. Si la selección de nuevo equipo contiene posibilidad de controlar internamente el factor de potencia, entonces el impacto de estas cargas sobre la empresa será mínimo. Este es el curso de acción adoptado por países Europeos. El equipo vendido en Europa debe reducir armónicos y controlar el factor de potencia.

Los filtros activos, Los filtros activos, con sofisticados sistemas electrónicos empiezan a hacer su aparición en el mercado. Son costosos y delicados. No gozan de una total aceptación de tiempo. En la forma más simple, un filtro de armónica activo es un regulador de tipo impulso. El filtro impulsa voltaje a lo largo de cada ciclo medio de Corriente alterna (AC), proveyendo la carga con una forma de onda rectangular. La onda de voltaje formada puede completarse con electrónica activa, saturación magnética o ambos.

La forma de onda rectangular de voltaje fuerza a los rectificadores en la fuente de alimentación a sacar corriente por un intervalo más largo. Para construir el ciclo correcto (período de conducción de corriente vs el intervalo de voltaje) y mejorando también el factor de potencia.

Dependiendo del tipo de filtro armónico activo, la distorsión a la salida puede ser mínima o muy pronunciada. Las figuras 2.5 a y b muestran la tensión y corriente dentro y fuera de un filtro activo



15.a) Entrada a un filtro activo

15.b) Salida de un filtro activo

Fig. 2.12 Señal de Tensión y corriente dentro y fuera de un filtro pasivo.

2.6.11 Recomendaciones para disminuir el efecto de los Armónicos

Usualmente la solución al problema de armónicos es eliminar los síntomas y no el origen, los aparatos que crean los armónicos generalmente constituyen una pequeña parte de la carga, eliminar su uso no es posible, modificar esos equipos para que no causen armónicos tampoco es factible. Lo que nos queda es reducir los síntomas ya sea incrementando la tolerancia del equipo y del sistema a los armónicos o modificar los circuitos y los sistemas para reducir su impacto, atrapar, o bloquear los armónicos con filtros. Por supuesto hay excepciones.



En casos de sobrecarga, daño de equipo o diseño inapropiado, estas causas que generan armónicos pueden ser corregidas, similarmente un aparato o equipo particular que produce un alto nivel de armónicos debe ser modificado o reemplazado.

Un aspecto que con frecuencia es mal evaluado, es que los armónicos han sido un problema reciente debido al efecto de adición y multiplicación de los mismos, la presencia de estos efectos es lo que causa problemas, individualmente ninguno es problemático por sí mismo. Por ejemplo, la distorsión armónica causada por un motor de inducción, que se usa para hacer circular aire para uso agrícola, puede haber sido tolerado por muchos años, pero inesperadamente causa problemas de flicker porque el conductor neutro se abrió.

Es común en el caso de severos problemas de armónicas, que se ligen dos o más factores que contribuyan a agravar el problema, particularmente cuando se adiciona equipo nuevo o que existen cambios de equipo, siendo la sospecha del problema los nuevos equipos. Cuando se presentan causas simultáneas que generan altos niveles de armónicas, usualmente sólo una es la mayor causa del problema, contribuyendo las otras causas a crear resonancia o a ayudar en su propagación.

El primer paso que se recomienda en cualquier investigación sobre el problema de armónicas es inspeccionar el equipo y el circuito eléctrico. Estos problemas son causados o empeorados por cargas desbalanceadas, mala conexión a tierra, problemas con el conductor neutro, por problemas con equipo o por uso inapropiado. Esto puede ser identificado con una inspección cuidadosa con equipo apropiado.

CAPITULO

3



Capítulo 3

3. Alternativas para el diseño de balastos para lámparas fluorescentes.

Los balastos para lámparas fluorescentes se clasifican generalmente por su método de encendido (precalentado, encendido instantáneo y encendido rápido). Hay dos tecnologías principales de balastos: los electromagnéticos (operan a 60 Hz.) y los electrónicos (operan a 20 a 60 Hz). Los tres métodos de encendido se emplean en diseños de balastos electrónicos en el mercado. Dentro de estas categorías hay también diseños especiales de balastos que sirven para luminarias de lámparas múltiples, garantizando la potencia y/o la seguridad del encendido de las lámparas bajo condiciones de temperatura adversas.

Dada la variedad de métodos de encendido y de lámparas fluorescentes que están disponibles, la compatibilidad de las lámparas y balastos debe vigilarse durante las rutinas de mantenimiento de los sistemas de iluminación o en programas de remodelación. En los Estados Unidos, los balastos protegidos térmicamente están avalados por **Underwriters Laboratorios (UL)**. Los usuarios que quieren protección adicional deben usar solo fusibles de operación lenta de una razón suficientemente alta para ordenar cualquier corriente anormal (de inrush) asociada con el ciclo de encendido de la lámpara/balastro.

Los balastos electromagnéticos han estado en uso desde que las lámparas fluorescentes fueron introducidas por primera vez.

Estos son sencillos de diseñar, tienen pocas partes, y pueden ser fabricados de materiales comunes.



De hecho, muchos balastos electromagnéticos baratos que contenían alambre de aluminio y laminaciones de bajo grado de hierro estuvieron alguna vez ampliamente disponibles.

El único problema era que estos balastos consumían (a través de calentamiento resistivo) más 20 por ciento de la energía entregada antes de que esta alcanzara a las lámparas.

Tales balastos ineficientes son ahora prohibidos en los Estado Unidos y Canadá, por el **National Appliance Energy Conservation Act** y el **Energy Efficiency Act** respectivamente. Esta legislación requiere que los balastos vendidos para sistemas comerciales de iluminación fluorescente (aquellos que usen lámparas F40T12, F32T8 y F96T12) sean cuando menos iguales en eficiencia que los balastos electromagnéticos de alta eficiencia. Como resultado, solo tres tipos de balastos son vendidos ahora para uso comercial en los Estados Unidos y Canadá: los balastos electromagnéticos de alta eficiencia, los balastos electromagnéticos de desconexión de cátodo y los balastos electrónicos. Los balastos electromagnéticos de energía eficiente son, inicialmente, la opción menos cara.

Los balastos electrónicos para lámparas fluorescentes se volvieron prácticos hace 20 años con la reducción del costo de los componentes transistorizados. Estos balastos cambian la frecuencia de entrada de 60 Hz del suministro eléctrico a 20 Khz. (o más), lo cual permite tener inductores con bobinas pequeñas para realizar la función limitadora de corriente para las lámparas. Los núcleos de hierro y los devanados de cobre pesado requeridos para los buenos diseños de balastos electromagnéticos para 60 Hz, han desaparecido.

Esto significa que los balastos electrónicos pueden tener menores perdidas por calentamiento internos que los electromagnéticos y pueden ser relativamente compactos y livianos.

Los balastos electrónicos tienen más partes que los balastos electromagnéticos, lo que produce un costo de fabricación mayor.

Estos balastos también pueden generar interferencia electromagnética radiada o conducida (IEM). Los filtros o protecciones pueden ser usados para controlar estas IEM en aplicaciones que podrían ser de otra manera, desfavorablemente afectadas. Los balastos electrónicos también son generalmente más sensibles a las altas temperaturas del ambiente y los picos de voltaje que los balastos electromagnéticos.

Las comparaciones directas de funcionamiento entre balastos electromagnéticos y electrónicos no son frecuentemente aplicables porque la mayoría de los balastos electromagnéticos están diseñados para operar lámparas T12 mas antiguas (hasta hoy, muchas lámparas T12 han sido descontinuadas), mientras que la mayoría de balastos electrónicos están diseñados para operar lámparas T8 y lámparas compactas fluorescentes. Solo la luz relativa de una combinación específica de lámpara-balastro obtenida bajo condiciones de prueba ANSI puede servir como una referencia confiable.

3.1 Balastos

Todas las lámparas que producen luz por medio de un arco eléctrico en un ambiente gaseoso requieren de un dispositivo externo que limite la corriente de operación. Debido a que el tubo de descarga de este tipo de lámparas tiene una impedancia negativa, si esta corriente no se controla seguirá incrementándose hasta destruir la lámpara. Este dispositivo externo se llama BALASTRO.

De acuerdo con las normas nacionales, un balastro “Es un dispositivo que, por medio de inductancias o resistencias solas o en combinación, limita la corriente de las lámparas al valor requerido para su operación correcta y también cuando es necesario suministra la tensión y corriente de arranque;

en el caso de balastos para lámparas fluorescentes de arranque rápido, también se encarga de suministrar la tensión para calentamiento de cátodos”(Fig. 31).

Electromagnéticos

Constan de un núcleo de hierro, embobinado, capacitor, compuesto asfáltico

Electrónicos

Consta de circuito impreso y circuitos integrados, que operan en alta frecuencia (20 000 a 60 000 Hz)

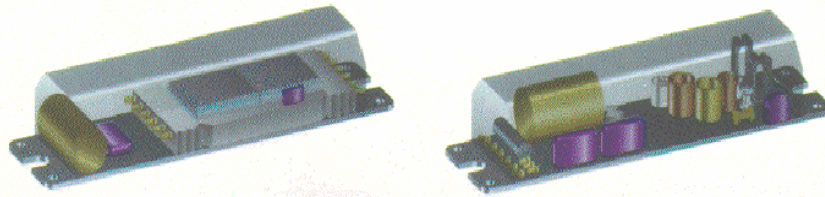


Fig. 3.1 Tipos de Balastro para lámparas fluorescentes

Ahora bien, con la introducción del balastro electrónico la definición anterior se modifica y podría asentarse que el balastro es un dispositivo electromagnético o electrónico, limitador de corriente, que controla los parámetros eléctricos que hacen posible la operación correcta de la lámpara de descarga que alimenta. Antes de definir mas a fondo y dar una explicación mas detallada de lo que un balastro electrónico, primero daremos un panorama general de lo que es un balastro y su clasificación.

Un balastro estándar es propiamente el ensamble de un núcleo y una bobina, en donde el primero esta construido con laminación de acero y el carrete con alambre de cobre, en algunas ocasiones de aluminio, el que se coloca dentro de una caja de lamina y se rellena con un material no conductor que proporciona aislamiento eléctrico y ayuda a disipar el calor. El capacitor ayuda a proporcionar el voltaje suficiente para arrancar la lámpara en algunos casos también para corregir el factor de potencia.



Los balastos se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Para lámparas fluorescentes
2. Para lámparas de alta intensidad de descarga (HID)
3. Para lámparas de baja intensidad de descarga (LID)

También pueden clasificarse de acuerdo con su factor de potencia. Los hay de factor de potencia bajo o normal (menor a 0.8), factor de potencia corregido (0.8 a 0.9) y alto factor (mayor de 0.9).

El balastro en general tiene como funciones:

1. Proporcionar la tensión o tensiones de encendido y operación de la lámpara.
2. Limitar la corriente de operación de la lámpara.
3. Proporcionar la energía necesaria con una mínima distorsión de la corriente.
4. Corregir el factor de potencia (en los tipos de factor corregido y alto factor).
5. Amortiguar las variaciones de la tensión de línea.
6. En algunos tipos reducir la radio-interferencia producida normalmente por el conjunto lámpara-balastro.
7. En circuitos ER proveer un calentamiento continuo de los filamentos de la lámpara.

Aunque los requisitos de encendido y operación de las lámparas de descarga en gas se pueden satisfacer con una infinidad de modalidades, a continuación comentaremos el principio básico y las características de operación de los tipos de balastos de mayor aplicación, enfocándonos principalmente a los BALASTROS ELECTRONICOS debido a que este trabajo es fundamentado en el.

3.2 Balastos para lámparas fluorescentes.

Los sistemas fluorescentes se dividen en tres grandes categorías de acuerdo con su encendido:

3.2.1 Encendido precalentado (ep)

Por el diseño de este tipo de lámparas, se requieren que sus electrodos sean calentados antes del arranque. En serie con los filamentos y en paralelo con la lámpara debe colocarse un dispositivo arrancador (también conocido como cebador) que puede ser manual o automático.

Al energizar el circuito, la corriente pasa a través del balastro, de los filamentos y del arrancador. Durante este periodo de encendido el balastro únicamente proporciona la corriente necesaria para calentar los cátodos de la lámpara.

3.2.2 Encendido instantáneo (ei).

En este sistema de encendido se inicia el arco por medio de la aplicación de un voltaje alto sin que los electrodos hayan sido precalentados. Por esta razón los balastos de encendido instantáneo son de mayor tamaño y aunque tiene la ventaja de no necesitar arrancadores (con lo cual se reduce el mantenimiento) son económicamente recomendables solo en el caso de usarse para encender dos lámparas, aunque desde luego existen circuitos para una lámpara.

3.2.3 Encendido rápido.

En este tipo de balastos se tienen devanados para proveer de calentamiento continuo a los filamentos, por lo que no requieren de arrancador. Las lámparas encienden casi tan rápidamente como las de el porque además de la tensión aplicada a cada cátodo se aplica una tensión entre cátodos de tal manera que se inicie el arco. El reflector debe estar aterrizado para crear un efecto capacitivo entre la lámpara y la tierra que facilite el arranque.

3.3 Balastos híbridos para lámparas fluorescentes

En general se puede decir que los balastos híbridos son aquellos que combinan un conjunto núcleo-bobinas como los mencionados anteriormente, con un dispositivo de estado sólido. Existen dos tipos principalmente:

- **CON AYUDA DE ARRANQUE.-** Son balastos de ER que no proveen calentamiento continuo a los cátodos. El encendido se logra por medio de una tensión transitoria proporcionada por el dispositivo de estado solido, similar al ignitor para lámparas de VSAP. Con esto se logra reducir la potencia de línea sin disminución apreciable de la emisión luminosa. Se requiere de un cuidadoso diseño para evitar disminuir la vida de las lámparas.
- **CON CORTADOR DE FILAMENTOS.-** Son balastos de ER que proveen durante el arranque de un calentamiento normal a los filamentos. Una vez encendida y estabilizada la lámpara el dispositivo de estado sólido reduce gradualmente el calentamiento hasta eliminarlo por completo. Con esto se abate notablemente la potencia de línea sin una disminución apreciable de emisión luminosa ni de vida de lámpara.

3.4 Balastos electromagnéticos ahorradores de energía

Son fabricados con alta tecnología y mejores materiales que los normales, con el objeto de reducir las perdidas. Operan a las lámparas a potencia adecuada sin reducir su vida útil. Trabajan a temperaturas internas muy bajas con lo que aumentan su propia vida. Tienen apariencia similar a los normales y se conectan igual a ellos, pero generalmente tienen una ventaja de contar con un dermoprotector que evita sobrecalentamientos internos.

Tienen un desempeño que cae entre los normales y los electrónicos. Se encuentran disponibles en potencias que corresponden a las lámparas de mayor uso y su aplicación es muy recomendable.

Por trabajar a temperaturas menores que los normales están garantizados generalmente por 4 años, pero se estima que pueden vivir entre 10 y 12 años. Se encuentran disponibles en el mercado pero debe tenerse la precaución de acoplarse solo a lámparas compatibles con ellos.

3.5 Balastos electrónicos para lámparas fluorescentes.

Son balastos de estado sólido que pueden ser discretos o integrados y trabajan con alta frecuencia y bajas pérdidas (típicamente de 4 a 6 watts) como se muestra en la figura 3.1, ayudando a mejorar la eficacia de las lámparas. Se pueden instalar directamente en lugar de los electromagnéticos porque son de las mismas dimensiones, aunque su peso es mucho menor. Como trabajan a alta frecuencia evitan el efecto estroboscópico y el flicker. Los hay de potencia de lámpara constante y de potencia variable. A su vez, los de potencia variable puede tener dos o tres escalones definidos o bien los hay que pueden controlar la potencia en pasos discretos, en forma similar al dimmer de una lámpara incandescente.

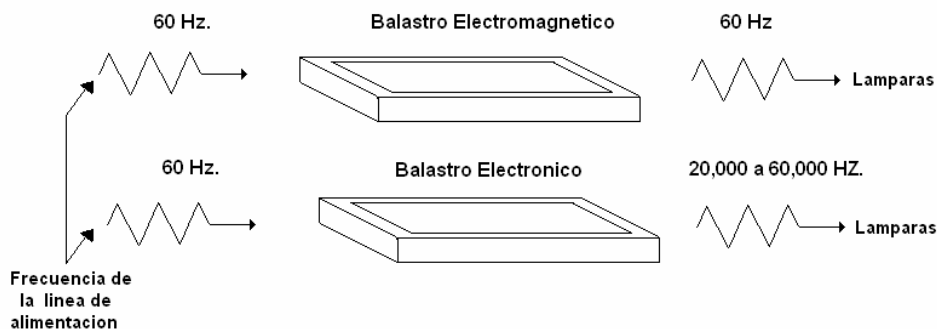


Figura 3.2 Comparación de balastos con respecto a la frecuencia de Operación

En combinación con lámparas ahorradoras permiten ahorros de hasta 35% si se comparan con balastos y lámparas normales. El costo depende del tipo de balastro y la marca. Se fabrican ya en México en las potencias mas comerciales con precios entre 2 y 3 veces mayores que los normales. Algunos modelos importados son muy eficientes y cuestan entre 4 y 5 veces más que los normales. Se recomienda su uso en lugares con buena ventilación y poca vibración, que dispongan además de una buena tierra. En productos importados se debe verificar que su tensión nominal corresponde a la tensión de suministro en México.

Como referencia se recomienda consulta la “Guía de Adquisición de Equipo Eficiente: Balastos”, desarrollada por el Grupo de Consulta de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE).

Las ventajas que se obtienen con el balastro electrónico, llamado también de alta frecuencia, son las siguientes:

- Producen menos ruido (catalogados como clase A.)
- Pesan aproximadamente la mitad de los electromagnéticos.
- Tiene menos calentamiento (30° C mas fríos), obteniéndose por consiguiente un ahorro en el consumo del equipo de aire acondicionado.
- Mayor duración (se estima la vida en 20 años, en lugar de 12 del balastro electromagnético).
- La distorsión total de armónicas es menor del 20% (THD). Los balastos electromagnéticos alcanzan valores del 33%.
- Como ya se indico anteriormente, las lámparas fluorescentes tiene una mayor eficacia con balastos electrónicos, aproximadamente en un 11%, como se puede apreciar en la grafica correspondiente.
- Las perdidas se reducen en un 10%.
- El flicker de las lámparas que alimenta es de 2 a 3% únicamente.

- El factor de potencia corregido es del orden del 98%.

El balastro electrónico cuenta con protector térmico que evita que se queme cuando existan condiciones anormales de operación o instalación. También es importante mencionar que este tipo de balastos acepta una variación de más-menos 10% del voltaje de alimentación manteniendo el 100% de emisión de luz. En la figura 3.2 y 3.3, se muestran el diagrama típico y a bloques del circuito del balastro electrónico.

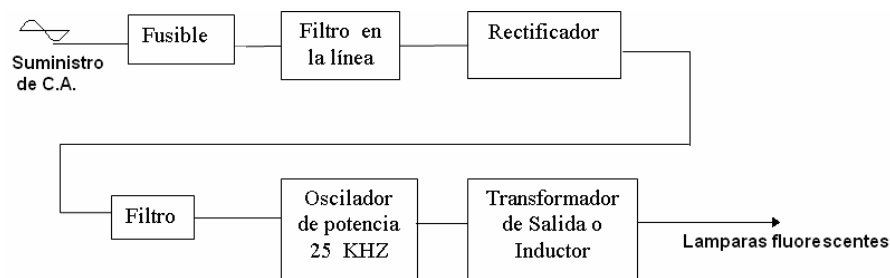


Fig. 3.3 Diagrama típico del circuito del balastro electrónico

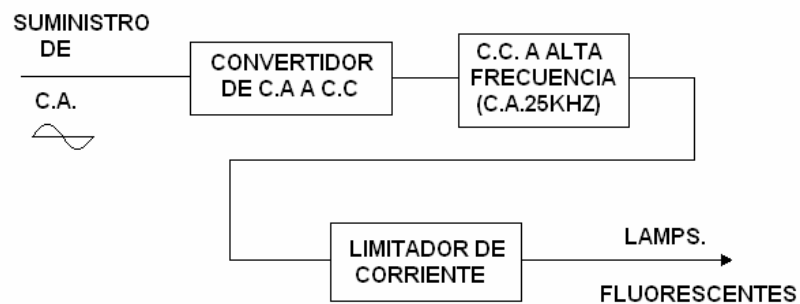


Fig. 3.4 Diagrama a bloques del circuito del balastro electrónico



3.6 Parámetros a considerar en la selección de balastos para lámparas fluorescentes.

Se ha establecido una hoja para cada tipo de balastro, en la que se consignan los parámetros a considerar de acuerdo con el número y potencia de lámparas, así como la calidad del balastro. Los parámetros se han clasificado en dos categorías: los obligatorios y los deseables.

3.6.1 Requisitos obligatorios

1. Protección térmica.- no es un parámetro para ahorrar energía, pero si es fundamental para incrementar la seguridad en las instalaciones eléctricas. En balastos electromagnéticos y en los híbridos se logra por medio de un protector sensible a la temperatura de los devanados y a la magnitud de la corriente. En algunos balastos electrónicos se usa un fusible, con el inconveniente de que no se autorrepone. En balastos electrónicos de calidad superior la protección se hace por medio de semiconductores y se le llama protección inherente. En general, a los balastos termoprotegidos se les conoce como clase “P”.
2. Clasificación de sonido.- De acuerdo con su construcción y principio de funcionamiento, de todos los balastos producen sonido audible. Se han clasificado en 6 categorías, que van desde la “A” hasta la “F”, siendo “A” la mas silenciosa (20 a 24 db) y “F” la de mayor ruido (mas de 49 db). En inmuebles, el sonido excesivo puede causar dolor de cabeza, fatiga prematura y bajo rendimiento de los usuarios.



3. Voltaje de Alimentación Elevado.- Un sobrevoltaje en balastos puede causar falla prematura de lámparas y balastos, además de un consumo excesivo de energía. Mientras mayor sobretensión sea capaz de soportar el balastro, mejor.
4. Voltaje de Alimentación Reducido.- Un voltaje de alimentación al balastro menor del nominal puede causar incertidumbre en el encendido de las lámparas, sobre todo en condiciones de baja temperatura. Mientras mas bajo sea el voltaje aceptado por el balastro sin arriesga el encendido de las lámparas, mejor.
5. La regulación en un balastro establece la variación de la luz producida por las lámparas (dada en porciento) debida a una variación en el voltaje de alimentación (también expresado en porciento). Una regulación perfecta significa luz constante a pesar de las variaciones de voltaje.
6. Distorsión Armónica Total (THD).- Se expresa en porciento con respecto a la onda fundamental y puede darse en voltaje, corriente o potencia. Un THD alto produce exceso de corriente en el neutro de los sistemas trifásicos, elevación de perdidas en cables y transformadores, etc. Mientras mas bajo sea su valor, mejor.
7. Distorsión de Tercera Armónica.- La tercera armónica tiene una frecuencia triple de la fundamental (180 Hz) y en edificios se considera la mas dañina. Un balastro puede tener un THD bajo, pero con tercera armónica alta. Por lo tanto, mientras mas baja esta armónica mejor.
8. Factor de Cresta en Corriente.- Es la relación entre el pico y el rms de una onda. Cuando el factor de cresta se eleva, la vida de la lámpara se reduce. El optimo es igual o menor a 1.4142, pero en lámparas de encendido rápido el máximo permitido es 1.7 y en instantáneo 1.85



- 9. Frecuencia Nominal de Alimentación.-** En algunos tipos de balastos la frecuencia de alimentación modifica las características de los circuitos y el desempeño del balastro. En México la frecuencia única es 60 Hz, por lo que los balastos deben estar diseñados para operar a esta frecuencia.

- 10. Calentamiento Continuo de Cátodos.-** En lámparas de encendido rápido se aplica un pequeño voltaje para calentar los cátodos durante toda la operación de la lámpara. Una reducción o una interrupción en el calentamiento disminuye la vida de la lámpara y causa problemas en el encendido.

- 11. Frecuencia de operación en las Lámparas.-** Los balastos electrónicos generalmente operan en alta frecuencia, mejorando la eficiencia de las lámparas fluorescentes. Frecuencias demasiado altas pueden producir interferencia electromagnética e interferencia de radio (EMI y RFI)

- 12. Factor de Potencia.-** Los balastos pueden influir en la producción de un bajo factor de potencia general, con las consiguientes altas corrientes en la instalación. CFE y LyF penalizan a los usuarios con bajo factor de potencia. Mientras mas cercano a la unidad sea el factor de potencia de un balastro, mucho mejor.

- 13. Tensión de Circuito Abierto (OCV).-** Para que una lámpara fluorescente encendida, se requiere que el balastro le aplique un voltaje lo suficientemente alto para iniciar el arco en el tubo. Un voltaje bajo dificulta el encendido.

- 14. Sin resina o capsula.-** Algunos fabricantes de balastos electrónicos del tipo discreto (con componentes visibles) encapsulan a sus balastos con resina o algún compuesto equivalente para protegerlo de la humedad, efecto de punta y otros agentes perjudiciales por lo que el peso total del balastro se



incrementa, lo que puede causar un error al confundirlos con balastos electromagnéticos.

- 15.** Sin contenido de Askareles Los capacitores usados en los balastos usan un dieléctrico, que puede ser askarel o un compuesto similar. El askarel es no biodegradable y causa daños serios a la salud humana y al medio ambiente. Se debe evitar absolutamente su uso.
- 16.** Potencia Total a tensión de Línea.- Es la potencia total demandada por el balastro y su(s) lámparas(s), asumiendo voltaje nominal constante. Para ahorro de energía es un parámetro fundamental
- 17.** Corriente de Línea.- Dependiendo del número y potencia de lámparas, de su eficiencia y del factor de potencia, cada balastro demanda ciertos amperes (o miliamperes). Es un valor a considerar para el dimensionamiento de la instalación y su protección. Cuando un balastro se energiza, se puede producir momentáneamente una alta corriente mayor a la nominal (corriente de inrush).
- 18.** Factor de Balastro (F B).- Para balastos de encendido rápido es la relación entre la luz producida por un balastro comercial y la luz producida por las mismas lámparas operadas por un balastro patrón o de laboratorio. Para encendido instantáneo es la misma relación, pero se sustituye a la luz por la potencia de las lámparas en cuestión. Se expresa generalmente en porcentaje, aunque para fines de cálculo de otros parámetros puede expresarse en por unidad y la información se obtiene del fabricante. Un factor de balastro bajo causa reducción en los niveles de iluminación.



- 19. Factor de Eficiencia de Balastro (FEB).**- es la relación entre el factor de balastro en porcentaje y los watts totales demandados por el conjunto lámpara(s)-balastro. Se establece un valor mínimo para cada tipo de balastro y depende del número y potencia de las lámparas. Mientras mas alta, mejor.
- 20. Eficacia a Voltaje Nominal.**- Es la relación entre los números totales producidos por el conjunto lámpara-balastro y los watts totales, asumiendo voltaje constante. El flujo luminoso para cada lámpara se considera como sigue: 1,400 lm para 17w T8, 3,050 lm para 32w T8 y 6,000 lm para 59w T8. La eficacia se expresa en lúmenes por watt (lm/w) y mientras mas alta, mejor.
- 21. Eficiencia a Voltaje Nominal.**- Es la relación entre los watts entregados por el balastro a las lámparas y los watts demandados por el conjunto lámpara-balastro. Se multiplica por 100 para expresarla en porcentaje y mientras mas alta mejor, no pudiendo nunca llegar a 100
- 22. Sello FIDE.**- es un estricto sistema de certificación implementado por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) para verificar que equipos eléctricos como motores, sensores de presencia, balastos, lámparas, etc. Cumplen con los requisitos para ser considerados como ahorradores de energía.
- 23. Sello NOM/ANCE.**- Las normas nacionales establecen que todos los materiales y equipos usados en las instalaciones eléctricas deben presentar el sello NOM, con objeto de garantizar la seguridad de los usuarios. En EEUU se usa el sello UL y en Canadá el CSA.



24. Diagrama de Conexiones.- Dado que se tiene un sinnúmero de alternativas de circuitos y tipos de balastos, las formas de conectar a las lámparas es diversa, por lo que es un requisito indispensable que el propio fabricante incluya en la etiqueta el diagrama de conexiones.

25. Garantía Directa de Fabricante.- Los fabricantes garantizan sus balastos en función de la calidad de sus productos, asumiendo una aplicación adecuada. A más garantía, los costos de mantenimiento se reducen, por lo que se justifica una inversión mayor en balastos garantizados por más años.

CAPITULO

4



4 Filtros

Se denomina un filtro a la combinación de elementos pasivos (R, L y C) diseñados para dejar pasar una serie de frecuencias.

En los sistemas de comunicaciones se emplean filtros para dejar pasar solo las frecuencias que contengan la información deseada y eliminar las restantes.

Los filtros son usados para dejar pasar solamente las frecuencias que pudieran resultar ser de alguna utilidad y eliminar cualquier tipo de interferencia o ruido ajeno a ellas.

Existen dos tipos de filtros: Filtros pasivos y Filtros Activos

- **Filtros Pasivos:** Son aquellos tipos de filtros formados por combinaciones serie o paralelo de elementos R, L o C.
- **Filtros activos:** Son aquellos que emplean dispositivos activos, por ejemplo los transistores o los amplificadores operacionales, junto con elementos R, L, C.

En general se tienen los filtros de los siguientes tipos:

- **Filtros pasa-bajos**
- **Filtros pasa-altos**
- **Filtros pasa-banda**
- **Filtros elimina-banda**

Para cada uno de estos filtros existen dos zonas principales las cuales son llamadas *Banda de paso* y la *Banda de atenuación*.

La banda de paso, es donde las frecuencias pasan con un máximo de su valor, o hasta un valor de 70.71% con respecto a su original (la cual es la atenuación de – 30 dB)

4.1 Filtro pasa bajas

Es el primer filtro que se tiene, su funcionamiento es a base de un capacitor y resistencia, este filtro tiene la configuración según la Figura 4.1:

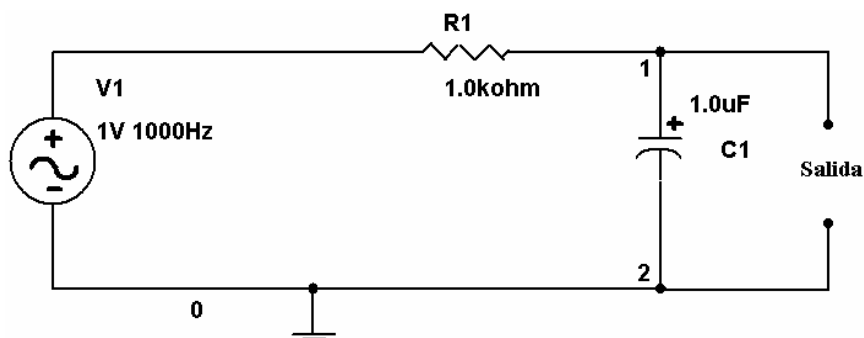


Fig.4.1 Filtro pasa Bajas

Su funcionamiento es el siguiente:

El capacitor se comporta como una resistencia dependiente de la frecuencia por la relación de la Ecuación 4:

$$X_c = \frac{1}{C(2\pi)f} \quad (\text{Ec. 4})$$

Es decir, para frecuencias muy bajas el capacitor (por la regla de división de voltaje) al ser una resistencia muy alta, consume todo el voltaje, si se conecta la salida en paralelo al capacitor se tendrá el máximo de tensión a la salida.

Conforme aumentemos la frecuencia de la fuente el capacitor disminuye su impedancia, con lo que el voltaje que disipa disminuye, hasta tender a cero.

Este tipo de filtro tiene una grafica de respuesta en frecuencia como se muestra en la figura 4.2:

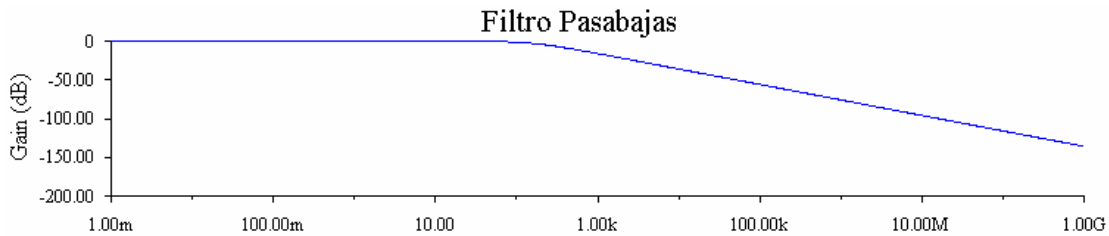


Fig. 4.2 Grafica de respuesta de un filtro pasa bajas

4.2 Filtro Pasa-altas

Este es el segundo de los filtros pasivo, el único cambio que presenta es la conexión de la salida, la cual en vez de tomarse del capacitor se toma de la resistencia lo cual nos provoca que en vez de dejar “pasar” las frecuencia bajas pasen las frecuencias altas.

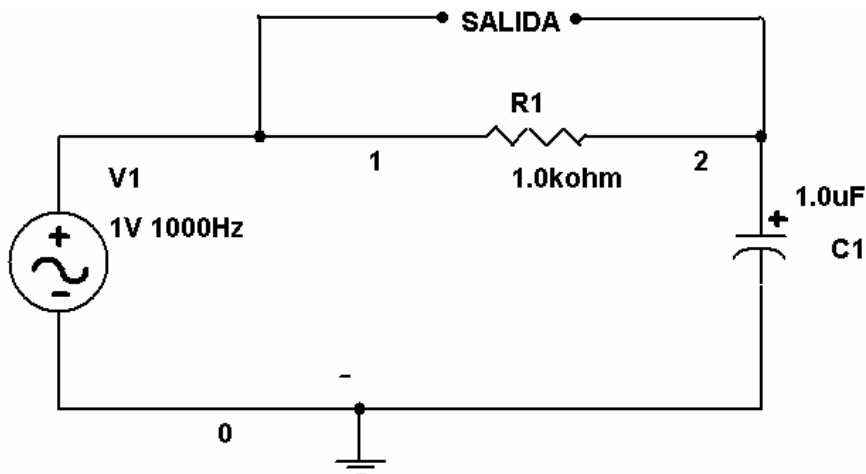


Fig. 4.3 Filtro pasa altas

Como ya se menciona el circuito físicamente es igual que el anterior, solamente la salida se toma de la resistencia (Fig. 4.3.)



Cuando la frecuencia es demasiado baja, la tensión se consume casi en su totalidad en el capacitor, el cual se comporta como una impedancia de valor muy alto (Fig. 4.4), por lo que en la salida no se tiene casi voltaje, cuando la frecuencia aplicada es aumentada se tiene que el valor de la impedancia representada por el capacitor disminuye hasta que casi no consume voltaje, y la mayoría del voltaje se tiene a la salida.

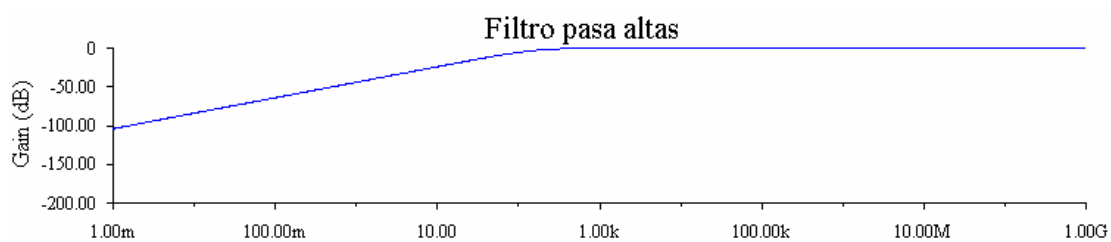


Fig. 4.4 Grafica de respuesta de un filtro pasa altas

Estos dos filtros tienen un valor llamado frecuencia de corte, la cual es el valor de la frecuencia a partir del cual se considera que ya está filtrando las señales.

Esta frecuencia está determinada como la frecuencia en la que el valor de la salida con respecto a la entrada tiene una atenuación de -3dB. (O la salida es .717 del valor de la entrada).

Dependiendo de los valores elegidos de resistencia y capacitancia será el valor de la frecuencia de corte.

Pero, para una resistencia fija, el valor de la frecuencia de corte depende del valor del capacitor.

4.3 Filtro pasa bandas:

Este es un filtro que se compone de un filtro pasa bajas y uno pasa altas conectadas en cascada (Fig. 4.5).

Los componentes se deben de seleccionar para que la frecuencia de corte del filtro pasa altas sea menor que la del filtro pasa bajas.

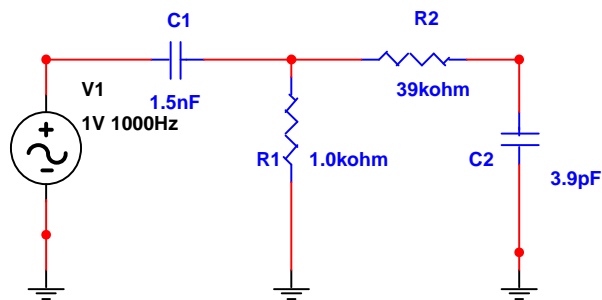


Fig. 4.5 Filtro pasa bandas

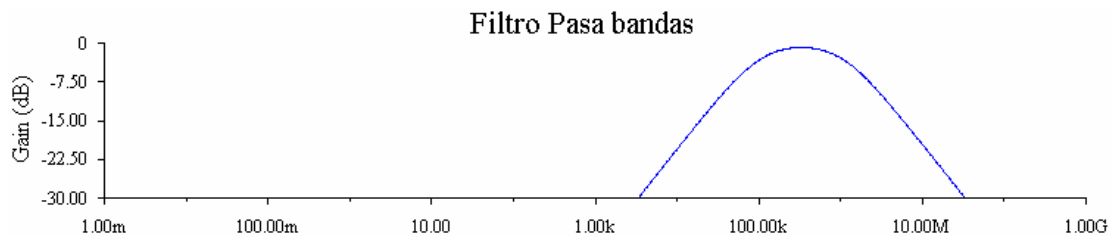


Fig. 4.6 Grafica de respuesta de un filtro pasa bandas.

La característica mas importante de este circuito es el ancho de banda que permitiremos pasar, el ancho de banda es igual a la resta de las frecuencias de corte.



4.4 Filtros elimina-banda.

Estos filtros tienen la facultar de eliminar una banda determinada de frecuencias permitiendo el paso de las demás. Un filtro elemental de este tipo es el representado en la figura 4.7

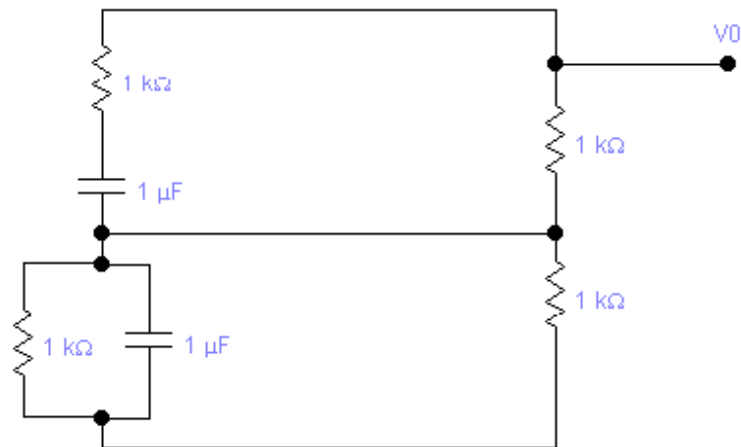


Fig.4.7 Filtro elimina-banda



4.2 Implementación del filtro para el balastro fluorescente tipo T8

De acuerdo con los capítulos anteriores, se hizo mención de como los filtros ayudaban a reducir los armónicos que generaban las cargas no lineales, a continuación se presentara el diseño de un filtro, que se utilizara en un balastro electrónico para lámparas fluorescente de encendido instantáneo de 17W.

4.2.1 Material Utilizado

- 1 Lámpara fluorescente T8 de 17 W

Marca **SILVANYA**

- 1 Balastro electrónico de 127 V, 305 mA, Encendido instantáneo

Modelo 1BF1740

Marca **ealux** S.A de C.V

- 2 Analizadores de redes, Trifásico

Modelo 3945

Marca **AEMC**

- 1 Bobina de 1.42 H de 5000 vueltas

- 1 Bobina de 1.38 H de 5000 vueltas

- 2 Capacitor de 9.97 μF – 250 V.C.A. – 50/60Hz

Marca **ELAVSA**

- 1 Multímetro digital

Modelo 37XR

Marca **METERMAN**

- 1. Luxómetro

Modelo CA811

Marca **AEMC INSTRUMENTS**

4.2.3 Consideraciones para el Analizador de Redes.

Se considero una relación de transformadores de corriente RTC de 1000:1 con el fin de obtener una lectura correcta ya que si ampliamos este factor podemos obtener lecturas pero con una distorsión o bien no tener lectura en el instrumento. Por consiguiente se tendrá mejor definición en la mediciones con lo que respecta a mediciones de corriente, por ejemplo, si el instrumento marca 254 A, el valor real de esta lectura será de 254×10^{-3} A, al igual que en las potencias que son mostradas en kW, kVARS, kVA se tendrá la consideración anterior.

4.2.4 Desarrollo

Realizar la conexión de la lámpara y el balastro a una tensión de 127V, de acuerdo con el siguiente diagrama. (Fig. 4.7 y 4.8)

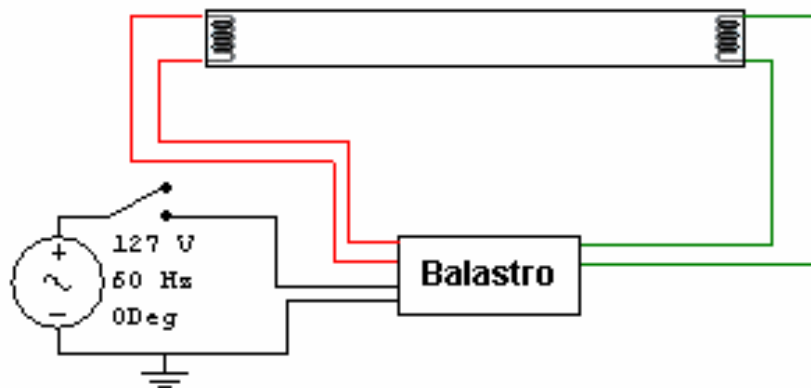


Fig. 4.8 Diagrama eléctrico de la conexión del balastro



Fig 4.9 Conexión física de la lámpara fluorescente

Ahora, con los analizadores de redes se realizaron las mediciones correspondientes a:

1. Tensión
2. Corriente
3. TDH

En las Figuras 4.10 a y b se muestran las formas de onda de la tensión y la corriente que fueron tomadas por medio del Analizador de redes, en la figura 4.9 b se puede observar como la forma de onda de la corriente tiene distorsión que es generada por el Balastro que es conectado al Sistema.

Con las mediciones realizadas determinamos que el balastro presenta el comportamiento de un circuito RC tomando como base la potencia reactiva generada por el mismo y que presenta una severa distorsión armónica en corriente de modo que nuestro objetivo será disminuir dicha distorsión.

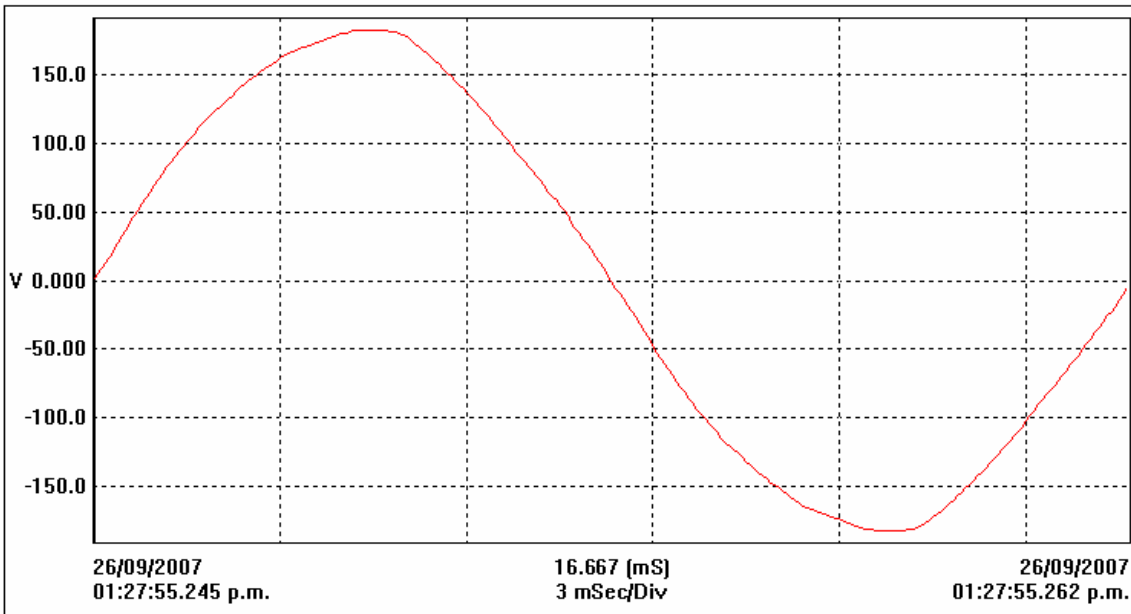


Fig. 4.10 a) Forma de onda de la Tensión en el lado del sistema

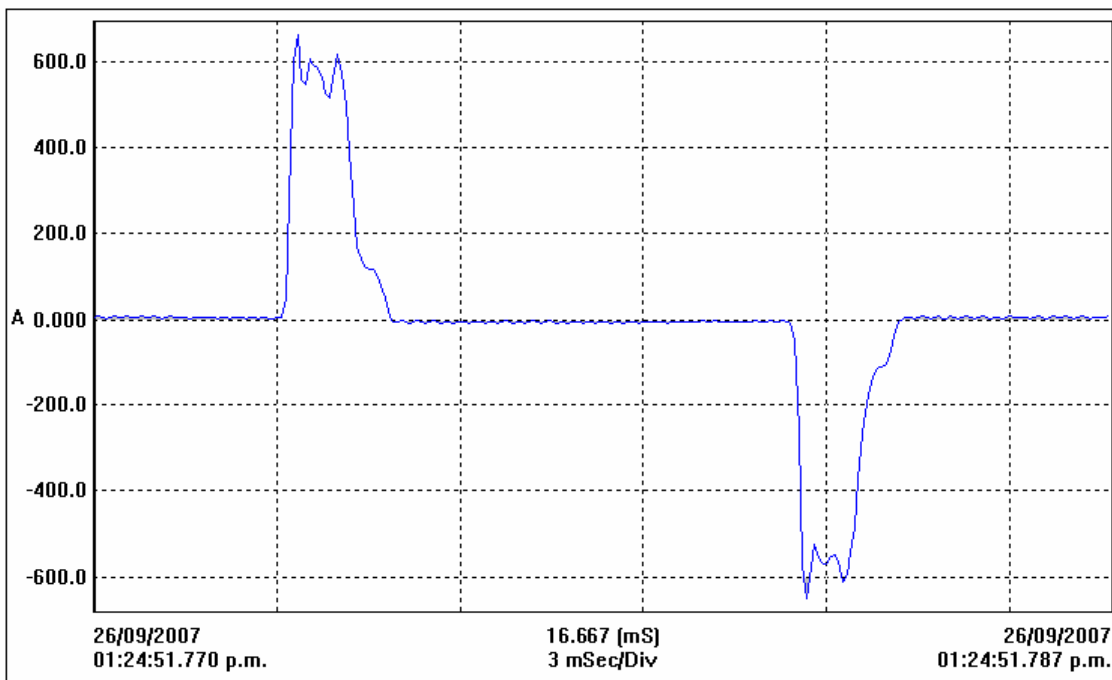


Fig. 4.10 b) Forma de onda de la Corriente en el lado del sistema

$I = 196.967452 \text{ mA}$ ■

$V = 127.736598 \text{ V}$ ■

151.66 % de TDH en la Corriente

Ahora bien se procede a modelar dicho balastro por medio del siguiente circuito (Fig. 4.11)

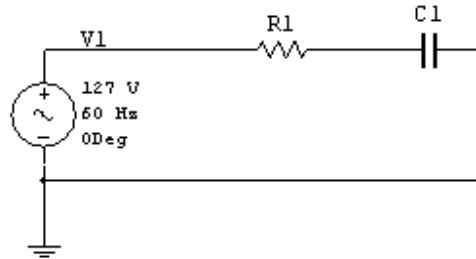
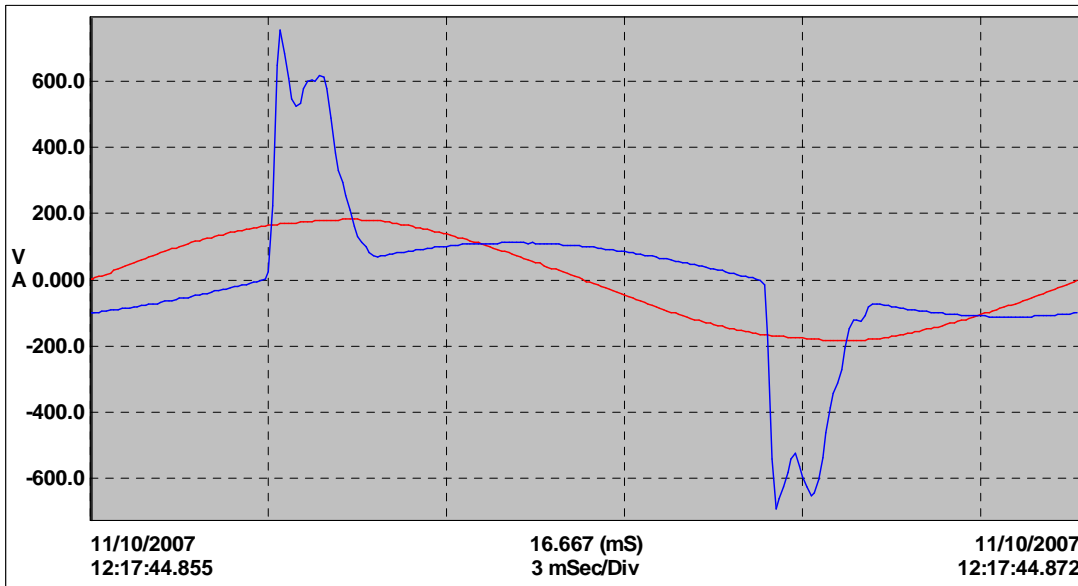


Fig. 4.11 Circuito equivalente del balastro

Como se puede observar en la figura 4.12 el mayor problema lo tenemos en la forma de onda de corriente, según nuestro analizador de redes es de 149 % lo cual no es sinusoidal y se pretende que esta forma de onda se asemeje a una sinusoidal.

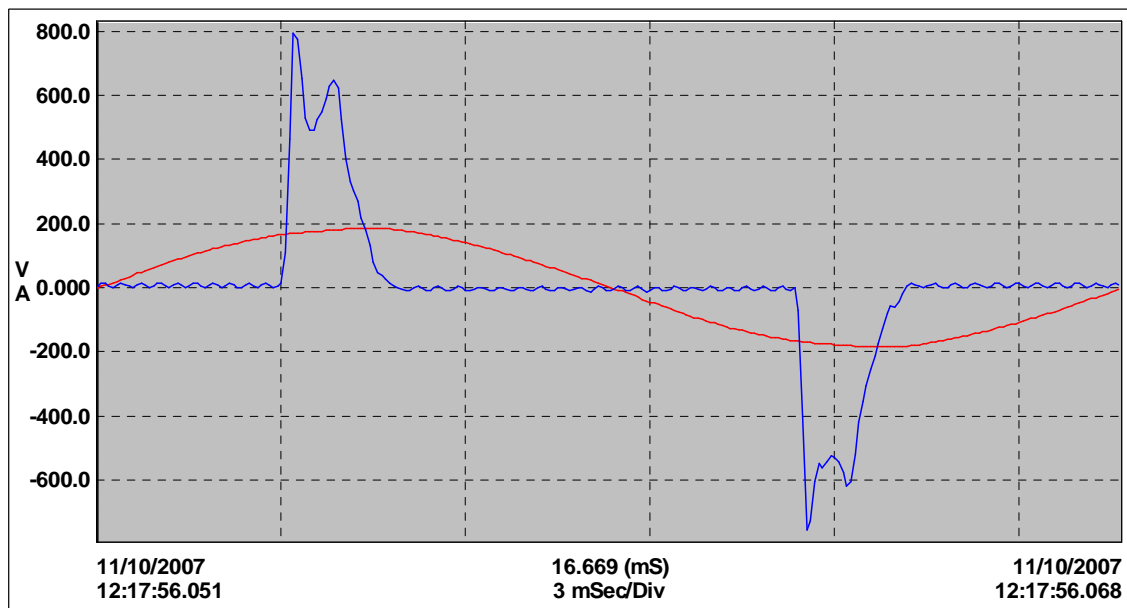


$I = 228.888448$ mA RMS ■

$V = 128.798509$ V RMS ■

110.36 % de TDH en la corriente

Fig.4.12 a) Forma de onda lado fuente sin filtro



$I = 206.367931$ mA RMS ■
 $V = 129.589882$ V RMS ■

150.73% de TDH en la Corriente.

Fig. 4.12 b) Forma de onda lado balastro sin filtro

Además observamos que el balastro en estas condiciones presenta un factor de potencia de .546, lo cual para nosotros no es aceptable ya que se está disipando una cantidad mínima de potencia activa

W: 13.82 W

VAR: 21.54 VARS

VA: 25.52 VA

Factor de Potencia: 0.552

Con los valores presentados anteriormente se decidió introducir una bobina en el circuito cuya función es disminuir la reactancia que presenta el filtro y además contribuir con el mejoramiento de la forma de onda.

Se utilizo una bobina que tuviera una misma reactancia que el del balastro, esto para poder disminuir la reactancia del circuito.

Con los valores nominales de la bobina tenemos que: $L_2=1.38H$

Por lo que su reactancia será:

$$X_{L_2} = 2 * \pi * 60 * L_2 = 2 * 60 * 3.1416 * 1.38 = 520.42\Omega$$

Para poder comprobar lo anterior, se realizara el diagrama de la figura 4.13, y por medio del método del Voltmetro –ampermetro se calculara la resistencia interna que presenta la bobina.

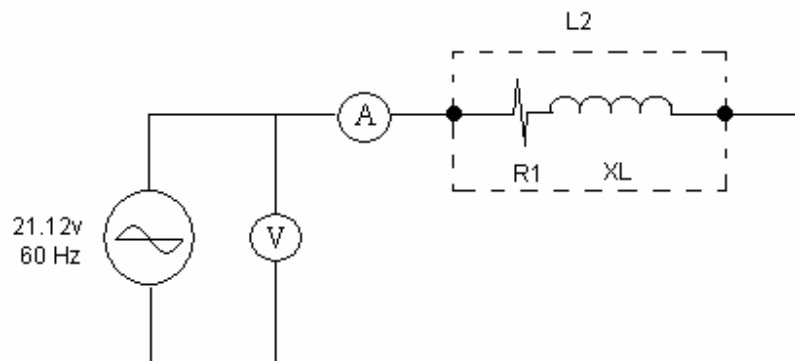


Fig. 4.13 Metodo del voltmetro - ampermetro para conocer la Reactancia de la bobina L_2

Para poder determinar la X_L del circuito, sabiendo que tiene nominalmente 231Ω de resistencia interna, se le aplica una tensión de $21.12V$ a la inductancia, y obtenemos que:

$$I = 33.49 \text{ mA.}$$

$$V = 21.12 \text{ V}$$

$$R_{\text{medido}} = 385.2$$

Con los valores anteriores calculamos la impedancia del inductor, por lo que:

$$Z = \frac{21.12V}{33.49 \times 10^{-3} A} = 630.54 \Omega$$

Ahora por medio del Método del Voltmetro-Ampermetro obtenemos la X_L del circuito.

$$X_L = \sqrt{(630.54)^2 - (385.2^2)} = 499.20 \Omega$$

$$Z_L = 385.244 + i499.2 = 630.54 \angle 52.34 \Omega$$

Las variaciones son debido a errores de medición, la exactitud de los instrumentos de medición utilizados.

Ahora acoplando la bobina al circuito del balastro como se muestra en la figura 4.14 con una tensión de 127V, se realizara la medición de la corriente y la tensión que circulan por el inductor L1

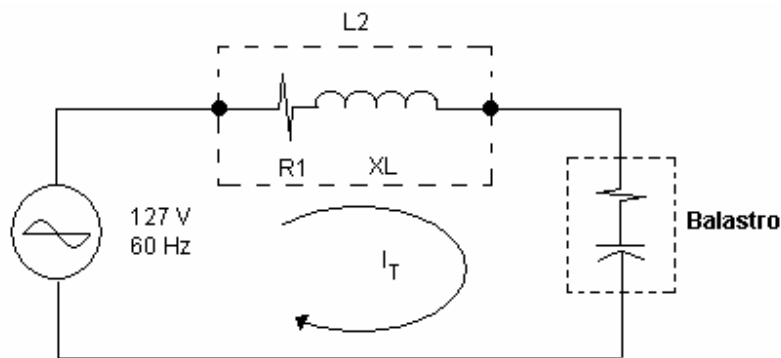


Fig 4.14 Circuito equivalente con bobina (filtro).

Realizando mediciones tenemos que:

Para obtener la impedancia del Balastro

$$V_{BALASTRO} = 95.3 V$$

$$I_{BALASTRO} = 100.5 mA = I_T$$



$$Z_{BALASTRO} = \frac{95.3V}{100.5 \times 10^{-3} A} = 948.25 \Omega$$

Como no se conoce el valor de la resistencia interna del Balastro, por medio del analizador de redes conectado en el Balastro, obtenemos que:

$$P=7.85 W$$

$$Q=4.96 \text{ VARS ind.}$$

Con lo anterior podemos obtener que:

$$Z_{BALASTRO} = \frac{(95.3V)^2}{(7.85 + i4.96)VA} = 978.07 \angle -32.28 \Omega = 826.85 - i522.44 \Omega$$

Como ya obtuvimos las impedancias del circuito, podemos comprobarlo para poder observar si lo anterior fue lo correcto con respecto a la I_T

$$Z_T = (630.54 \angle 52.34) + (978.07 \angle -32.28) = 1212.32 \angle -1.099 \Omega$$

$$I_T = \frac{127V}{(1212.32 \angle -1.099) \Omega} = 104.7 mA$$

Con la implementación de la bobina actuando como un filtro (Fig. 4.14) y mejorando el factor de potencia se tiene una mejora considerable en la forma de onda de corriente disminuyendo el TDH a un valor de 11.5 %, pero en contra parte se tiene una disminución en la tensión que recibe el balastro ya que como sabemos una característica de los inductores es la de reducir la tensión en los circuitos.

De tal forma que se decidió realizar un circuito auxiliar que nos permita obtener el nivel de tensión adecuada en el balastros, ya que si consideramos trabajar con los valores anteriores se vera reflejado en la vida útil del balastro, así como la disminución en el nivel de iluminación que proporciona la lámpara.

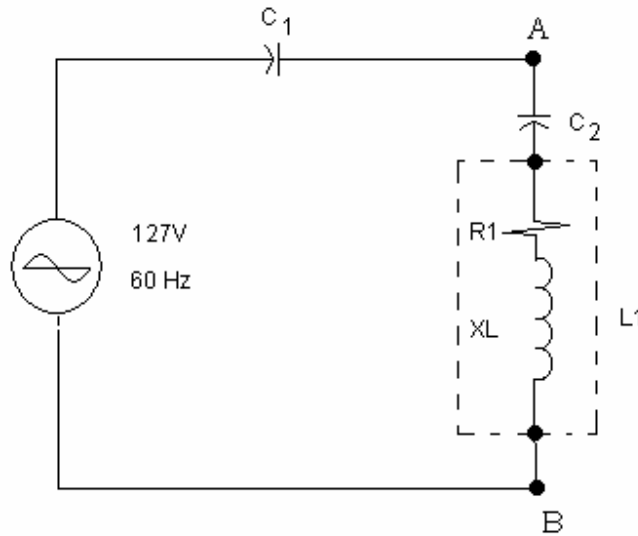


Fig 4.15. Circuito elevador de tension

Para conocer la reactancia de la se le Aplicó una tensión de 21.2V a la inductancia, obtenemos que:

$$I = 37.05 \text{ mA.}$$

Con los valores anteriores de Tensión y corriente calculamos la impedancia del inductor ya que internamente cuenta con una resistencia interna que tiene un valor de 285.3Ω, que fue medido al momento de la conexión por lo que:

$$Z = \frac{21.2V}{37.05 \times 10^{-3} A} = 572.2\Omega$$

Ahora por medio del Método del Voltmetro-Ampermetro obtenemos la L del circuito

$$X_L = \sqrt{(572.2)^2 - (285.3^2)} = 496\Omega$$

Con los valores de la capacitancia podemos obtener la reactancia de cada Capacitor.

$$C = 9.92\mu F$$

$$X_C = \frac{1}{2 * \pi * 60 * 9.97\mu F} = 266.3\Omega$$

Con las impedancias de cada elemento podemos obtener la corriente total que pasa por el circuito de la figura 4.14.

$$I_T = \frac{127V}{(-i266.3 + (-i266.3) + (285.3 + i496))\Omega} = 441\angle 7.3mA$$

$$Z_{AB} = (-i266.3) + (285.3 + i496) = 366.27\angle 38.83 \Omega$$

$$V_{AB} = I_T Z_{AB} = (0.441\angle 7.5A)(366.28\angle 38.83\Omega) = 161.5\angle 46.14V$$

Como la tensión entre AB es la es de 161.5 según la figura 4.15, se puede acoplar con el circuito de la figura 4.14.

Teniendo ahora el siguiente circuito equivalente (Fig. 4.16), físicamente el diagrama esta mostrado en la figura 4.17

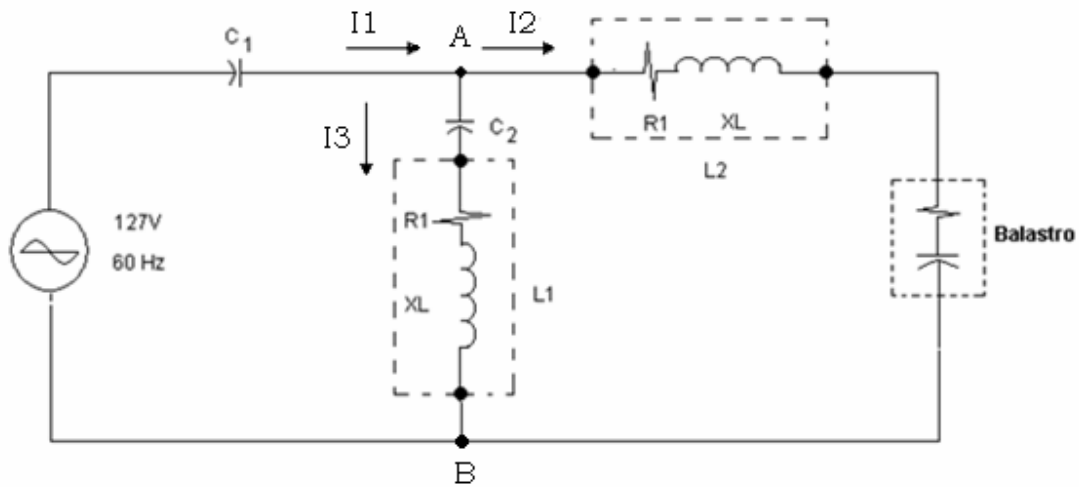


Fig. 4.16 Conexión del filtro con el circuito elevador de Tensión

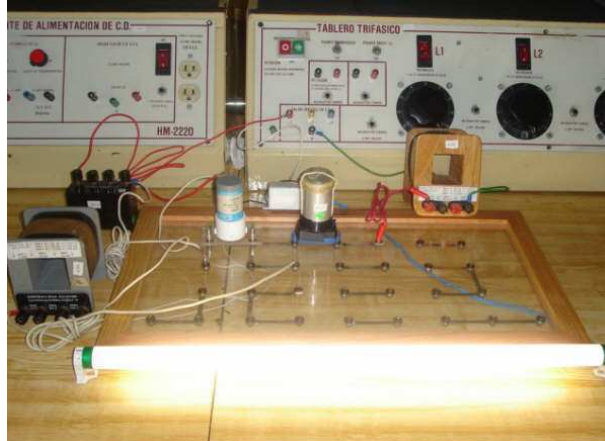


Fig. 4.17 Diagrama físico con conexión del filtro.

De acuerdo con la figura 4.16 se midió la tensión en cada elemento por lo cual:

$$V_{C1}=153.7 \text{ V}$$

$$V_{C2}=128.42 \text{ V}$$

$$V_{L1}=250 \text{ V}$$

$$V_{L2}=77.2 \text{ V}$$

$$V_{BALASTRO}=134 \text{ V}$$

La Corriente en cara rama del circuito es:

$$I_1=552.5 \text{ mA}$$

$$I_2=118 \text{ mA}$$

$$I_3=434.4 \text{ mA}$$

$$L_1=1.42 \text{ H} \rightarrow X_L=535.32\Omega$$

$$L_1=1.38 \text{ H} \rightarrow X_L=520.42\Omega$$

$$C_1=9.97 \mu\text{F} \rightarrow X_C=266.056\Omega$$

$$C_2=9.97 \mu\text{F} \rightarrow X_C=266.056\Omega$$



Con los valores anteriores se pasa a obtener las impedancias de cada elemento.

Para L_2 :

$$Z_{L_2} = \frac{77.2V}{0.118A} = 654.23 \Omega$$

$$R = \sqrt{Z^2 - X_l^2} = \sqrt{(654.23)^2 - (520.42)^2} = 396.45 \Omega$$

$$Z_{L_2} = 396.45 + i520.42 = 654.23 \angle 52.7 \Omega$$

Para el Balastro:

$$Z_{BALASTRO} = \frac{134V}{0.118A} = 1135.59 \Omega$$

$$R = \sqrt{Z^2 - X_l^2} = \sqrt{(1135.59)^2 - (522.49)^2} = 1008.25 \Omega$$

$$Z_{BALASTRO} = 1008.25 - i522.49 = 1135.59 \angle -27.4 \Omega$$

Para C_1 :

$$Z_{C_1} = \frac{153.7V}{552.5 \times 10^{-3} A} = 278.19 \Omega$$

$$Z_{C_1} = -i278.19 \Omega$$

Para C_2 :

$$Z_{C_2} = \frac{128.42V}{434.4 \times 10^{-3} A} = 295.62 \Omega$$

$$Z_{C_2} = -i295.62 \Omega$$



Para L_1 :

$$Z_{L2} = \frac{250V}{434.4 \times 10^{-3} A} = 575.5 \Omega$$

$$R = \sqrt{Z^2 - X_l^2} = \sqrt{(575.5)^2 - (535.32)^2} = 211.26 \Omega$$

$$Z_{L2} = 211.26 + i535.32 = 575.49 \angle 68.46 \Omega$$

Ahora para comprobar lo realizado calculamos la I_T

$$I_T = \frac{V_T}{Z_T}$$

$$Z_T = (-i278.19)\Omega + \frac{((-i295.62) + (575.49 \angle 68.46))\Omega + ((654.23 \angle 52.7) + (1135.59 \angle -27.4))\Omega}{((-i295.62) + (575.49 \angle 68.46))\Omega * ((654.23 \angle 52.7) + (1135.59 \angle -27.4))\Omega}$$

$$Z_T = 231.844 \angle -26.36 \Omega$$

$$I_T = \frac{V_T}{Z_T} = \frac{127 \angle 0V}{231.84 \angle -26.36 \Omega} = 547.79 mA$$

Como se observa en los cálculos anteriores se hizo la comprobación de las mediciones realizadas. Esto es para conocer la impedancia de cada elemento, cuando son conectados como en la figura 4.16.

Con el circuito realizado y por medio del analizador de redes se hizo las mediciones de tensión y corriente, y con ello se obtuvieron las formas de ondas respectivamente. Las formas de onda fueron tomadas en el sistema y en el balastro como se muestra la figura 4.18

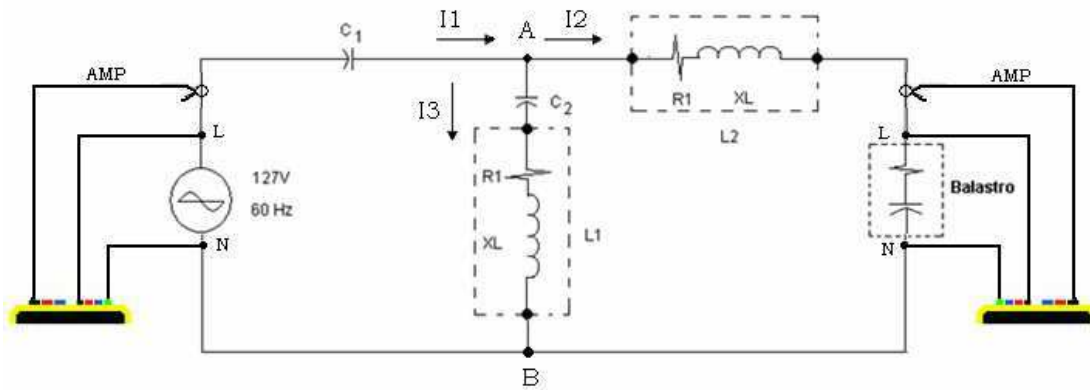
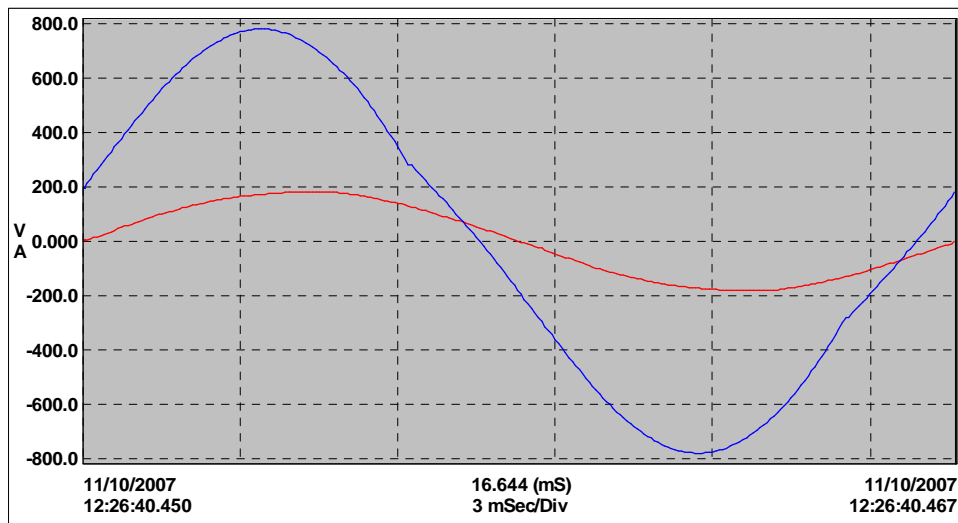


Fig. 4.18 Diagrama de conexión del analizador de redes, Modelo 3945

Se obtuvieron las siguientes formas de ondas por medio del analizador de redes, según la figura 4.17

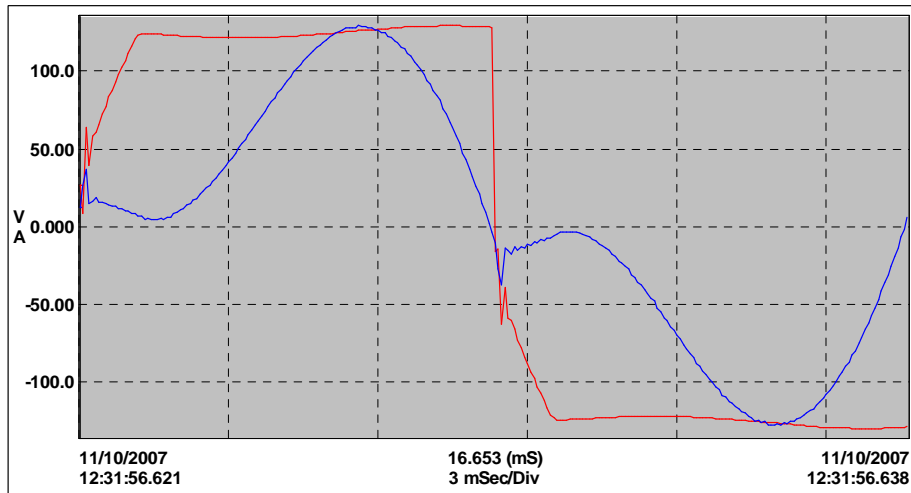


$I = 549.222$ mA RMS ■

$V = 128.208381$ V RMS ■

4.5% de TDH en la corriente

Fig. 4.19 a) Forma de onda lado fuente con filtro



I = 118.727077 mA RMS



V = 134.172074 V RMS



33.81 % de TDH en la corriente.

Fig. 4.19 b) Forma de onda lado balastro con filtro

Como se observa en las figuras 4.19 a) y b) las formas de onda están modificadas respecto a las formas de onda que se tenían al principio, las formas de onda que son del balastro se encuentran muy diferentes, pero la forma de onda respecto a la fuente es la que se deseaba modificar para que las distorsiones de corriente que provocaba el balastro conectado directamente al sistema (Fig. 4.8), se hizo una reducción de esas distorsiones de corriente, con ello se cumplió uno de los objetivos de lo que se tenía contemplados dentro de este trabajo, que era la de diseñar un filtro pasivo basado en el estudio de las ondas sinusoidales para reducir la distorsión armónica total respecto a la onda fundamental.



Conclusiones

Es muy importante tener una buena calidad de la energía, tanto para los usuarios como para al sistema eléctrico.

Con una buena calidad de la energía dentro de una instalación eléctrica, se puede ayudar a mejorar la eficiencia y buen funcionamiento de lo dispositivos eléctricos que están conectados a nuestra red. Al mismo tiempo como es sabido que estos una vez conectados inyectan perturbaciones al sistema llamados Armónicos, una de estas perturbaciones son las que inyectan los balastos electrónicos que son utilizados en las lámparas fluorescentes que se utilizan en oficinas, escuelas, hospitales, etc.,

Estos balastos, al mismo tiempo de ser muy benéficos para el sistema, por que consiguen con ellos un ahorro de energía, ahorro de espacio, una mejor eficiencia de nuestra lámpara, un trabajo a altas frecuencias para evitar el efecto estroboscopico, también son dañinos ya que se la principal consecuencia o desventaja de usarlos es que por estar compuestos de elementos activos combinados con elementos pasivos, presentan una gran distorsión armónica en comparación con los balastos electromagnéticos.

Al realizar el estudio de los balastos electrónicos se puede observar como se tiene una distorsión armónica que afectan al sistema, y para poder corregirlo se hizo el estudio de la propuesta de un filtro pasivo, el cual por medio de los componentes que lo integran, modifica la forma de onda de la corriente del sistema, Con ello se pueden disminuir los parámetros que se presentan cuando existen armónicos, como el calentamiento de cables, los disparos intempestivos de las protecciones entre otros.



Con el diseño del filtro a comparación con otros balastos de alta eficiencia, es muy diferente ya que el costo varia para cada uno de ellos, aunque dentro de este trabajo no se hace mención alguna de el costo beneficio entre los diferentes balastos que existen en el mercado, cabe señalar que se cumplió con ello uno de los objetivos particulares que se tenia al principio y que se hace mención al principio de este trabajo, el cual era disminuir las variaciones de corrientes armónicas en el sistema eléctrico de distribución debido a la presencia de cargas no lineales, que en este caso fue la de un balastro electrónico para una lámpara fluorescente de 17W.

El presente trabajo solo es parte de un tema que es demasiado extenso, que es el de la Calidad de la Energía, el cual se extienden a varios parámetros para tener un buen servicio eléctrico, esto se debe tener en cuenta ya que en la actualidad varios aparatos que están conectados es Sistema eléctrico son sensibles a las variaciones de energía, y pueden ser dañadas lo cual conlleva a que se tengan perdidas económicas tanto para el usuario como para la empresa suministradora, además de que al paso del tiempo la red Eléctrica sigue creciendo y existen demasiadas cargas conectadas a ella, ocasionando así un problema tanto al que proporciona la energía como para el consumidor.

Por ello se necesita poner atención a este tipo de problemas, y que se realicen estudios mas a fondo sobre el tema, por que aunque estas distorsiones no se pueden eliminar por completo, se pueden reducir de tal manera que se tenga una mejor eficiencia de los sistemas eléctricos.



GLOSARIO DE TERMINOS

Armónica. Tensiones o corrientes sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del sistema eléctrico

Balastro para lámpara fluorescente. Dispositivo que, por medio de inductancias, capacitancias o resistencias, solas o en combinación, limitan la corriente de lámparas fluorescentes al valor requerido para su operación correcta; y también, cuando es necesario, suministra la tensión y corriente de encendido. En el caso de balastos para lámparas de encendido rápido, suministra la tensión para el calentamiento de los cátodos.

Condensador eléctrico, dispositivo que almacena carga eléctrica. En su forma más sencilla, un condensador está formado por dos placas metálicas (armaduras) separadas por una lámina no conductora o dieléctrico. Al conectar una de las placas a un generador, ésta se carga e induce una carga de signo opuesto en la otra placa.

Distorsión armónica total (THD). Es la relación entre la amplitud de las corrientes armónicas totales y la amplitud de la onda de frecuencia fundamental. También es la relación entre la raíz cuadrática media de todas las armónicas y la raíz cuadrática media de la fundamental

Eficacia. Es la relación entre la luz emitida por una fuente de luz y la potencia eléctrica demandada, dada en lúmenes por Watt. Puede calcularse para la lámpara sola, para el conjunto lámpara(s)-balastro o para el conjunto lámpara(s)-balastro(s)-luminario.

Factor de balastro (FB). Es la relación entre la luz promedio de la(s) lámpara(s) fluorescente(s) de referencia operada(s) con el balastro bajo prueba y la luz promedio de la(s) misma(s) lámpara(s) operadas con un balastro patrón bajo condiciones controladas de prueba. En todos los casos, es costumbre expresarlo en por ciento.



Factor de cresta en la corriente de la lámpara (FC). Es la relación entre la corriente pico y la raíz media cuadrática (rms) en la corriente de la lámpara. Mientras más alto sea, mayor reducción en la vida de la lámpara.

Factor de eficiencia de un balastro (BEF). Es una medida relativa de la eficacia de un sistema (conjunto lámpara-balastro) para un tipo y cantidad de lámparas específico. Está definido como la relación entre el factor de balastro expresado en por ciento y la potencia de línea del balastro expresado en watts.

Factor de mantenimiento. Es un factor que establece la relación entre la iluminancia en un área determinada después de un cierto periodo de tiempo y la iluminancia inicial sobre la misma área.

Factor de pérdida de luz. Es un factor usado para calcular la iluminancia después de un cierto período de tiempo y bajo determinadas condiciones de operación. Tomando en cuenta las variaciones de voltaje y temperatura, la acumulación de suciedad sobre el luminario y paredes, la depreciación de la lámpara, la categoría de mantenimiento y las condiciones ambientales.

Factor de potencia. Es la relación entre la potencia activa en watts y la potencia aparente en volt-amper. También, es el coseno del ángulo entre el voltaje y la corriente o el coseno del argumento de la impedancia.

Filtro. Dispositivo que modifica de un modo determinado una señal que pasa a través de él, se utilizan para bloquear o atrapar la energía de los armónicos de tal manera que no fluya por los equipos o que no entre al sistema,

Filtro pasivo. Son los más simples, más económicos, pero menos flexibles y efectivos para filtrar armónicas. Son elementos puramente pasivos, (R, L, C) usados por las empresas como circuitos en paralelo en la entrada de los servicios con problemas de generación de armónicas, evitando de esta manera que entren al sistema de distribución



Flicker (FI). Las fluctuaciones o flickers de tensión son variaciones sistemáticas del voltaje, la magnitud permisibles de estas fluctuaciones no debe de excederse de los rangos de voltajes de 0.9 hasta 1.1 pu.

Lámpara fluorescente. Fuente que produce luz bajo el principio general de luminiscencia; es decir, con baja elevación de temperatura, usando también el fenómeno de fluorescencia.

Lámparas fluorescentes (encendido). Se puede clasificar por su encendido en tres grupos: encendido precalentado (con calentamiento de cátodo sólo durante el encendido); encendido instantáneo (donde el encendido se produce por un alto voltaje sin calentamiento de cátodos), y encendido rápido (donde el arranque se produce por medio de un voltaje de encendido de valor medio de calentamiento de cátodos permanente). También se pueden clasificar por su corriente en el arco: menos de 500 mA, entre 500 y 800 mA y entre 800 y 1,500 mA. Una forma más es por medio del diámetro de su bulbo: desde 2 hasta 17 octavos de pulgada. Cada una tiene sus características de operación.

Luminario. Es un equipo que consiste de una lámpara o lámparas con componentes diseñados para distribuir la luz, sostener y proteger la lámpara o lámparas. Cumple con funciones fotométricas, eléctricas, estéticas y de seguridad.

Sistema de encendido instantáneo. Término que se aplica a aquellos sistemas en los que se enciende una lámpara de descarga eléctrica, mediante la aplicación de una tensión a la lámpara, lo suficientemente alta para provocar la emisión de electrones de los cátodos por emisión de campo iniciándose, por tanto, el flujo de electrones a través de la lámpara, lo que ioniza los gases o inicia una descarga a través de la lámpara sin que previamente se hayan calentado los electrodos.

Sistemas de encendido rápido. Sistemas en los que las lámparas de cátodo caliente se operan bajo las siguientes condiciones:



(1) Las lámparas se encienden previo calentamiento de los cátodos hasta una temperatura suficiente y adecuada para la emisión de electrones y sin que se establezca la ionización en la región entre los cátodos.

(2) El calentamiento se efectúa, ya sea mediante devanados calentadores de baja tensión del balastro o bien mediante transformadores de baja tensión que se instalan por separado

(3) La aplicación de suficiente tensión a través de la lámpara y entre la lámpara y un auxiliar de encendido (usualmente el mismo luminario) para iniciar la descarga cuando los cátodos llegan a una temperatura lo suficientemente alta para una emisión adecuada.

(4) La tensión de calentamiento de los cátodos se mantiene durante todo el ciclo de operación de la lámpara. Hay dos tipos de lámparas para sistemas de encendido rápido: lámparas con cátodos de baja resistencia y lámparas con cátodos de alta resistencia.

Sistema de precalentado. Son los sistemas en los que se encienden las lámparas de cátodo caliente, cuando los cátodos se han precalentado mediante el uso de un dispositivo de encendido, que puede ser de operación manual o automática. El dispositivo de encendido, cuando está cerrado, conecta los dos cátodos en serie con el circuito del balastro, de tal manera que la corriente fluye para calentar los cátodos hasta la temperatura de emisión, cuando el dispositivo se abre, se produce un pico transitorio de tensión que inicia la descarga, cuando la lámpara está en operación, circula por los cátodos únicamente la corriente del arco.

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura y/o Tabla	Descripción	Página
Capítulo 1		
Tabla 1. 1	Principales fenómenos causados por disturbios electromagnéticos	7
Fig. 1.1	Principio de funcionamiento de una lámpara fluorescente	12
Fig. 1.2	Esquema del circuito eléctrico de una lámpara fluorescente de 17 watts de potencia	13
Fig. 1.3	Tipo de lámparas fluorescentes	13
Capítulo 2		
<i>Tabla 2.1</i>	Relación de la armónica con respecto a la frecuencia y a las secuencia del sistema	23
<i>Tabla 2.2</i>	<i>Relación entre las secuencias y las armónicas</i>	23
<i>Tabla 2.3</i>	<i>Muestra de algunos efectos dañinos que ocasionan los armónicos sobre los elementos eléctricos</i>	29
<i>Fig. 2.1</i>	<i>Descomposición de onda distorsionada en una sinusoidal</i>	17
<i>Fig. 2.2</i>	<i>Trayectoria de las armónicas en un sistema inductivo</i>	18
<i>Fig. 2.3</i>	<i>Efecto de los capacitores en las trayectorias de las armónicas</i>	19
<i>Fig. 2.4</i>	Comparación de las armónicas con respecto a la fundamental	20
<i>Fig. 2.5</i>	<i>Ondas de armónicas con respecto a la fundamental</i>	22
<i>Fig. 2.6</i>	<i>Inyección de Armónicos al sistema</i>	22
<i>Fig. 2.7</i>	<i>Relación entre las armónicas y las componentes de secuencia</i>	24
<i>Fig.2.8</i>	<i>Triángulo relacionado con la potencia del capacitor, (Potencia activa (P), Reactiva (Q))</i>	27
<i>Fig. 2.9</i>	<i>La Onda Senoidal a la Frecuencia Fundamental (60 Hz) y Armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz).</i>	32



<i>Fig. 2.10</i>	<i>Onda deformada descompuesta en armónico</i>	32
<i>Fig. 2.11</i>	<i>Señal de Tensión y corriente dentro y fuera de un filtro pasivo</i>	36
<i>Fig. 2.12</i>	<i>Señal de Voltaje y corriente dentro y fuera de un filtro pasivo.</i>	37
Capítulo 3		
<i>Fig. 3.1</i>	<i>Tipos de Balastro para lámparas fluorescentes</i>	43
<i>Fig. 3.2</i>	<i>Comparación de balastros con respecto a la frecuencia de Operación</i>	47
<i>Fig. 3.3</i>	<i>Diagrama típico del circuito del balastro electrónico</i>	49
<i>Fig. 3.4</i>	<i>Diagrama a bloques del circuito del balastro electrónico</i>	49
Capítulo 4		
<i>Fig.4.1</i>	<i>Filtro pasa Bajas</i>	58
<i>Fig.4.2</i>	<i>Grafica de respuesta de un filtro pasa bajas</i>	59
<i>Fig.4.3</i>	<i>Filtro pasa altas</i>	59
<i>Fig.4.4</i>	<i>Grafica de respuesta de un filtro pasa altas</i>	60
<i>Fig.4.5</i>	<i>Filtro pasa bandas</i>	61
<i>Fig.4.6</i>	<i>Grafica de respuesta de un filtro pasa bandas</i>	61
<i>Fig.4.7</i>	<i>Filtro elimina-banda</i>	62
<i>Fig. 4.8</i>	<i>Diagrama eléctrico de la conexión del balastro</i>	64
<i>Fig. 4.9</i>	<i>Conexión física de la lámpara fluorescente</i>	65
<i>Fig. 4.10 a)</i>	<i>Forma de onda de la Tensión en el lado del sistema</i>	66
<i>Fig. 4.10 b)</i>	<i>Forma de onda de la Corriente en el lado del sistema</i>	66
<i>Fig. 4.11</i>	<i>Circuito equivalente del balastro</i>	67
<i>Fig.4.12 a)</i>	<i>Formas de onda lado fuente sin filtro</i>	67



<i>Fig. 4.12 b)</i>	<i>Formas de onda lado balastro sin filtro</i>	68
<i>Fig. 4.13</i>	<i>Metodo del voltmetro - ampermetro para conocer la Reactancia de la bobina L</i>	69
<i>Fig 4.14</i>	<i>Circuito equivalente con bobina (filtro).</i>	70
<i>Fig 4.15.</i>	<i>Circuito elevador de tension</i>	72
<i>Fig. 4.16</i>	<i>Conexión del filtro con el circuito elevador de Tensión</i>	73
<i>Fig 4.17</i>	<i>Diagrama físico con conexión del filtro</i>	74
<i>Fig. 4.18</i>	<i>Diagrama de conexión del analizador de redes, Modelo 3945</i>	76
<i>Fig. 4.19 a)</i>	<i>Forma de onda lado fuente con filtro</i>	77
<i>Fig. 4.19 b)</i>	<i>Forma de onda lado balastro con filtro</i>	77



Lista de Ecuaciones

Ecuación	Descripción	Pág.
EC.1	$E = \frac{\text{flujo luminoso}}{\text{unidad de superficie}} = \frac{\phi}{S}$	8
Ec. 2	$n = \frac{f_n}{f_1}$	17
Ec. 3	$v(t) = V_0 + \sum_{k=1}^{\infty} V_k \text{sen}(\omega_k t + \phi_k)$	19
Ec. 4	$\text{Tan } \delta = \frac{P}{Q}$	27
Ec. 5	$DF = \frac{\sqrt{\text{Suma de los cuadrados de las amplitudes de las armonicas}}}{\text{Amplitud de la fundamental}}$	33



REFERENCIAS

[1]Apuntes “Balastros”

Ing. David Hernández Ledesma
Academia de Utilización
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
Departamento de Ing. Eléctrica

[2]Apuntes “Calidad de la energía”

Ing. Cesar David Ramírez Ortiz
Ing. David Hernández Ledesma
Academia de Utilización
Unidad Profesional Adolfo López Mateos
Departamento de Ing. Eléctrica

[3]K. Shimizu, Y. Takahashi, and N. Kitamura "Electronic ballast circuit for fluorescent lamps that reduces circuit harmonics" Journal of Illuminating Engineering Society, Vo1.26 No.2

[4] Sedra, A., Brackett, P.: “Filter Theory and Design: Active and Passive”. Ed. Matrix.

[5] Cuaderno Técnico n^o 152, Los armónicos en las redes perturbadas y su tratamiento. Schneider Electric.

[6] IEEE “Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in electric Power Systems” Project IEEE-519, October 1991.

Paginas Web

1. www.fide.org.mx
2. www.elalux.com.mx
3. www.conae.gob.mx


ANEXOS

Especificaciones del Multímetro digital - Modelo 37XR - Marca **METERMAN**

Descripción	Multímetro de verdadero valor eficaz de precisión para aplicaciones electrónicas
Medidas	
Tensión DC	1000 V
Tensión AC	750 TRMS AC
mV DC	•
mV AC	TRMS
Precisión básica en tensión DC	0.1 %
Corriente CC	10 A
Corriente CA	10A TRMS
Resistencia	40 MΩ
Comprobador acústico de continuidad	•
Prueba de diodos	•
Capacidad	400 μF
Frecuencia	10 MHz
Temperatura	
Comprobación lógica	TTL/CMOS 20MHz
Inductancia	40 H
Ciclo de trabajo	•
Detección de tensión sin contacto	
Comprobación de batería	
Características	
Cuentas	10,000
Selección automática de rango con bloqueo de rango	•
Desactivación automática	•
Gráfico de barras analógico	•
Retroiluminación	•
Mín/Max	•
Promedio	•
Relativo	•
Nivel de seguridad	•
Captura de valor de pico	•
4-20 mA %	
Cable óptico RS-232	
dBm	•
Indicador de batería baja	•
Compuerta del fusible y baterías	•
Garantía	3 años
Nivel de seguridad	
IEC 1010 CAT II	1000 V
IEC 1010 CAT III	600 V
IEC 1010 CAT IV	
UL, C UL US (o CSA)	•
Contenido del blister	
Accesorio Magne-Grip™	•
Termopar + Adaptador	
Cables de prueba	TL36
Pinzas de cocodrilo con terminal roscado	•
Software y cable de comunicación	
Batería (9 V instalada)	•

Analizador de redes, Trifásico

Especificaciones

MODELO	3945-B		
ELECTRICAS			
Frecuencia de Muestreo	256 muestras por ciclo		
Almacenamiento de datos	4MB partidos para formas de onda, transientes, alarmas y registro		
Voltaje (TRMS)	Fase-a-Fase: 960V Fase-a-Neutro: 480V		
Corriente (TRMS)	Tenaza MN: 0 a 6A/120A o 0 a 240A Tenaza MR: 0 a 1200ACA, 0 a 1400Acc Tenaza SR: 0 a 1200A AmpFlex®: 0 a 6500A ¹		
MEDICION	RANGO	RESOLUCION	EXACTITUD
Voltajes RMS Mono-Fásicos	15 a 480V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Voltajes RMS Fase-a-Fase	15 a 960V	0.1V	±0.5% ± 2cts
Componente de Voltaje CC	15 a 680V	0.1V	±1% ± 2cts
Voltajes de Pico Mono-Fásicos	15 a 680V	1V	±(1% + 5cts)
Voltajes de Pico Fase-a-Fase	15 a 1360V	1V	±(1% + 5cts)
Frecuencia (Hz)	40 a 69Hz	0.01Hz	±0.01Hz
Sensores de Corriente (Arms)			
Tenaza M	0 a 240A	0.1A	±(0.5% + 2cts)
Tenaza SR	0 a 1200A	0.1A; 1A ≥ 1000A	±(0.5% + 2cts)
Sensor AmpFlex®	10 a 6500A	0.1A; 1A ≥ 1000A	±(0.5% + 1A)
Potencia Activa (Real) (kW)	0 a 9999kW	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Potencia Reactiva (kVAR)	0 a 9999kVAR	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≤ 0.8
Potencia Aparente (kVA)	0 a 9999kVA	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Factor de Potencia (PF y DPF)	-1.000 a 1.000	0.001	±(1.5% + 0.01)
Energía Activa (kWh)	0 a 9999MWh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≥ 0.8
Energía Reactiva (kVARh)	0 a 9999MVARh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct @ PF ≤ 0.8
Energía Aparente (kVAh)	0 a 9999MVAh	4 dígitos (10,000ct)	±1% ± 1ct
Desbalance (V & A)	0 a 100%	0.1%	±1% ± 1ct
Angula de Fase (V-A, A-A, V-V)	-179° a +180°	1°	±2° ± 1ct
Armónicos (1 ^{er} to 50 th) F = 40 a 69Hz (V ≥ 50V, A > Inom/100)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Distorsión Armónica Total (V y A)	0 a 999%	0.1%	±1% + 5cts
Factor-K (Kf)	1 a 99.99	0.01	±5% ± 1ct
Parpadeo (Pst)	0.00 a 9.99	0.01	-
Alimentación	Juego de baterías recargables NiMH de 9.6V Alimentación CA: 110/230Vca ±20% (50/60Hz)		
Vida de la Batería	≥8 hrs con pantalla encendida; ≤35 hrs con pantalla apagada (en modo registro)		
MECHANICAS			
Dimensions	9.5 x 7 x 2" (240 x 180 x 55mm)		
Weight	4.6 lbs (2.1kg)		
PANTALLA			
Tipo de Pantalla	LCD de color 1/4 VGA (320 x 240)		
AMBIENTALES			
Temperatura de Operación	32° a 122°F (0° a 50°C)		
Temperatura de Almacenaje	-4° a +122°F (-20° a +50°C)		
SEGURIDAD			
Clasificación de Seguridad	EN 61010-1, 600V Cat. IV ² , Grado de Contaminación 2		
Doble Aislación 	Sí		
Marca CE	Sí		

¹Factor de Cresta@ 6500 = 1 ²Cuando es utilizado con SR193 o las sondas AmpFlex®, 600V Cat. III MN193 o las sondas MR193