

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



LAS COMPONENTES ARMONICAS Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

VICTOR RAUL QUINTO TORRES

**PROMOCIÓN
1975 - II**

**LIMA – PERÚ
2011**

**LAS COMPONENTES ARMONICAS Y SUS EFECTOS EN
LA CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO**

A mis padres y hermano Francisco que ya no se encuentran conmigo y a los que aun me acompañan en esta aventura que es la vida.

SUMARIO

Las Normas Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos promulgada mediante el D. S. 020-97EM del 11/10/1997 y sus modificaciones, fue dictada con la finalidad de garantizar a los usuarios un suministro eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno, estableciendo los parámetros que se deberán evaluar para determinar la Calidad del Producto, y establece a las Perturbaciones como uno de ellos y dentro de éstas, a las tensiones armónicas que conjuntamente con el flicker son las dos perturbaciones a ser controladas, para ello les fija los periodos de medición, tolerancias para las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) y finalmente establece las compensaciones por los excesos de perturbaciones

En el presente informe de suficiencia, se trata de hacer un enfoque total de las componentes armónicas, partiendo desde su definición, formas de identificación, las fuentes de generación; los tipos de componentes; los efectos de su presencia en los sistemas eléctricos; formas de su cuantificación y medición hasta las medidas que se adoptan con la finalidad de eliminar o mitigar su presencia en las redes o sistemas eléctricos en general. Habida cuenta que, la cada vez mayor presencia de éstas en los sistemas eléctricos va a tener gran influencia en la calidad de la energía eléctrica que va a ser suministrada a los usuarios y sobre la cual estos últimos también van a interactuar al conectar a la red cargas no lineales en cantidades cada vez mayores como producto del gran desarrollo de la electrónica de potencia que ha convertido a los dispositivos electrónicos en parte importante de la casi totalidad de los diferentes equipos de uso masivo accionados por energía eléctrica. Hecho que hace necesario el control de estas componentes tanto por parte del suministrador como del cliente, siendo necesario para ello, el tener una idea clara de estas componentes, de sus efectos, de su cuantificación y de las formas de su eliminación o mitigación.

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
ANTECEDENTES	
1.1 Objetivo	3
1.2 Alcances	3
1.3 Situación actual	3
1.3.1 Aspectos Legales	4
CAPITULO II	
LAS COMPONENTES ARMONICAS.	
2.1 Conceptos básicos de electricidad	8
2.1.1 Circuito eléctrico	9
2.1.2 Componentes de los circuitos eléctrico	9
2.1.3 Tipo de señales eléctricas.	10
2.1.4 Parámetros característicos de las señales alternas.	11
2.2 Componentes armónicas	12
2.2.1 Definición de armónicas	12
2.2.2 Origen de las armónicas y la eficiencia energética	13
2.2.3 Cargas	13
2.2.4 Características que definen a las armónicas	14
2.2.5 Clasificación de las componentes armónicas	15
2.3 Distorsión armónica	16
2.3.1 Características de la distorsión armónica	16
2.3.2 Distorsión armónica por corriente	17
2.3.3 Distorsión armónica por tensión	17
2.3.4 Parámetros de la distorsión armónica	17
2.4 Fuentes generadoras de armónicas	19
2.4.1 Clasificación de las fuentes generadoras de armónicas	20
2.5 Fuentes generadoras de armónicas de mayor presencia en baja tensión	20

2.6	El problema de las armónicas en los sistemas eléctricos	26
2.6.1	Efectos producidos por las armónicas	27
2.7	Efectos según el componente sobre el que actúan	28
2.7.1	Resonancias	28
2.7.2	Aumento de las pérdidas	28
2.7.3	Sobrecarga de los equipos y máquinas instaladas	28
2.8	Normativa reguladora de la emisión de armónicas	33
2.9	Revisión de algunos estándares	33
2.9.1	Normas IEEE 519-1992	33
2.9.2	Normas IEC para armónicas.	35
2.9.3	Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE)	37

CAPITULO III

MEDICION DE LAS ARMONICAS Y DISTORSIONES ARMONICAS

3.1	Importancia de la medición de las armónicas	39
3.2	Objetivos de las medición de las armónicas	39
3.3	Casos en que debería hacerse la medición de las armónicas	39
3.4	Procedimientos para la medición de las armónicas	40
3.5	Normas y estándares para la medición de las armónicas	40
3.6	Requisitos mínimos del equipo para la medición de las armónicas	41
3.7	Punto de medición de las distorsiones armónicas PCC	42

CAPITULO IV

MEDIOS DE MITIGACION DE LAS ARMONICAS.

4.1	Mitigación de armónicas	44
4.2	Soluciones generales básicas para reducir la distorsión armónica	44
4.2.1	Implementación de las cargas perturbadoras al inicio de la red	45
4.2.2	Agrupación de las cargas no lineales	45
4.2.3	Uso de transformadores con conexiones especiales	45
4.3	Uso de filtros pasivos	46
4.3.1	Filtros pasivos de potencia serie	47
4.3.2	Filtro pasivo de potencia shunt o paralelo	47
4.3.3	Ventajas de los filtros pasivos de potencia	48
4.3.4	Desventajas de los filtros pasivos de potencia.	48
4.4	Uso de filtros activos	49

4.4.1	Filtros activos de potencia serie	49
4.4.2	Filtros activos de potencia paralelo	49
4.4.3	Ventajas de los filtros activos de potencia	50
4.4.4	Desventajas de los filtros activos de potencia	50
4.5	Uso de filtros híbridos	50
4.5.1	Filtros híbridos serie	50
4.5.2	Filtros híbridos paralelo	51
4.5.3	Ventajas de los filtros híbridos	52
4.6	Efectos asociados a la reducción de las armónicas	52

CAPITULO V

CASO PRÁCTICO DE DETECCION DE LAS COMPONENTES ARMONICAS

5.1	Detección de las componentes armónicas en un sistema eléctrico privado	53
5.2	Datos referenciales del estudio del sistema eléctrico	53
5.2.1	Datos técnicos del sistema eléctrico	54
5.2.2	Normas técnicas e instrumentos utilizados	56
5.3	Resultados obtenidos de las mediciones de las componentes armónicas	57
5.3.1	Resultados de las mediciones de las componentes armónicas de tensión	57
5.3.2	Resultados de las mediciones de las componentes armónicas de corriente	59
5.4	Análisis de los resultados obtenidos	66
5.5	Recomendaciones ante la situación existente.	66
5.5.1	Recomendaciones a aplicar para mitigar la distorsión armónica existente	67

CAPITULO VI

COSTOS DE LA CALIDAD DE ENERGIA

6.1	El costo de la mala calidad de la energía eléctrica	72
6.2	Riesgos de sufrir problemas de calidad de energía eléctrica	72
6.3	Problemas más frecuentes de la calidad de la energía eléctrica	72
6.4	Soluciones a los problemas de calidad de la energía eléctrica	73
6.5	Estimación de los costos de la mala calidad de energía eléctrica	74
6.6	Análisis de las inversiones en soluciones de problemas de calidad de energía	76
6.7	Desarrollo del análisis económico comparativo de las diferentes soluciones	76
6.8	Desarrollo del análisis económico de la alternativa de solución del caso	
	Practico	77

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	78
Recomendaciones	81
ANEXO A: Características de los condensadores y reactores de los filtros de rechazo de armónicas que funcionan como bancos de compensación del factor de carga.	83
BIBLIOGRAFIA	90

PROLOGO

El propósito de este informe es presentar al lector interesado en el tema, una visión rápida sobre las componentes armónicas, desde su definición teórica, orígenes, efectos en los sistemas eléctricos, su cuantificación, medidas de reducción de la distorsión armónica incluyendo finalmente la verificación práctica de la presencia de las componentes armónicas en un sistema eléctrico de un usuario del servicio público.

El Informe busca interesar a operadores de baja y media tensión así como a los profesionales dedicados al diseño de sistemas de baja y media tensión a efectos de que en la evaluación de las fallas en sus sistemas consideren como uno de los posibles factores de éstas, la presencia de las distorsiones armónicas en la red, o que al efectuar el diseño de redes de baja o media tensión se tenga presente que, éstas van a suministrar energía a cargas mayoritariamente no lineales, por lo tanto generadoras de distorsión armónica que al no contar con dispositivos que los eliminen, éstos producirán la reducción de la vida útil de la red y la propagación de la distorsión en las redes afectando a todos los usuarios al deteriorar la calidad de la energía y por tanto la calidad del servicio.

Por ello, se considera importante el tema pues el tener una idea clara sobre los componentes armónicos permitirá evaluar con mayor precisión la presencia de éstos en los sistemas de baja y media tensión, pues si bien es cierto que, los equipos generadores de estas componentes en estos niveles de tensión no son de gran potencia y teóricamente deben cumplir con determinados estándares internacionales que limitan la emisión de estas componentes, en la práctica ello no se cumple pues en el país no se hace ningún tipo de control de calidad que certifique su cumplimiento.

En el primer capítulo se define el objetivo y alcances del presente informe teniendo como marco para ello la Norma Técnica de Calidad de los Servicios que fija entre otros los valores límites de la distorsión armónica de tensión para la energía suministrada a los usuarios y fija las responsabilidades que le atañe tanto a suministradores como clientes sobre la materia.

En el segundo capítulo se presenta una breve reseña sobre conceptos básicos de electricidad, las componentes armónicas, su clasificación, la distorsión generada por éstos,

sus parámetros de medición y su representación grafica, Se efectúa una breve presentación resumida de las diversas fuentes generadoras de componentes armónicas y de las distorsiones poniendo especial atención en las que están presentes en las redes de baja tensión, los principales efectos que genera la presencia de las componentes armónicas en los diferentes partes de un sistema eléctrico.

Finalmente se presenta una breve reseña de la Normatividad existente para el control de las componentes armónicas establecidas por dos de las instituciones internacionales más importantes como son la IEEE y la IEC. Y la norma nacional la NTCSE

En el Tercer capítulo se trata sobre la necesidad de medición de la distorsión armónica y se presenta la Metodología a seguir según la NTCSE para la ejecución de mediciones a realizar en un sistema eléctrico con la finalidad de determinar la calidad del producto, y dentro de ellas las mediciones de las distorsiones producidas por la presencia de armónicos en el sistema examinado, se establece también los requisitos que deben cumplir los instrumentos de medición a emplearse.

El cuarto capítulo, presenta se algunas medidas a adoptarse con la finalidad de mitigar o amortiguar la distorsión armónica de los sistemas eléctricos mediante el empleo de diferentes tipos de filtros.

En el último capítulo se presenta la aplicación los resultados de mediciones efectuadas en un centro comercial con la finalidad de detectar distorsiones armónicas en su sistema eléctrico ante la ocurrencia reiterada de fallas y las posibles alternativas de solución a aplicarse.

El desarrollo del presente informe al presentar un enfoque global sobre las componentes armónicas, busca contribuir a un mayor conocimiento de estas componentes, cuya presencia en los sistemas eléctricos se han visto incrementadas significativamente debido al gran desarrollo de la electrónica de potencia que a producido que, una gran cantidad de equipos eléctricos de uso masivo se comporten como cargas no lineales generadoras de distorsiones armónicas que tenderán a inyectarse y propagarse en los sistemas eléctricos produciendo el deterioro de la calidad de la energía así como del servicio prestado. Finalmente, dejo establecido mi agradecimiento al Ing. Alberto Sandoval Rodríguez por el apoyo brindado en el estudio de la presencia de las componentes armónicos y sus diversos efectos nocivos en los sistemas eléctricos, el cual ha sido motivo de este informe .

CAPITULO I ANTECEDENTES

1.1 Objetivo

El objetivo principal es hacer una síntesis sobre el origen, la presencia, los efectos sobre las redes eléctricas, las formas de detección y medición, las posibles medidas conocidas de mitigación o amortiguamiento de los efectos de las componentes armónicas a fin de atenuar o neutralizar sus efectos nocivos en las redes eléctricas y evitar los acelerados deterioros de estas, que a su vez se va traducir en el deterioro de la calidad del servicio que trae aparejado un incremento en los costos de producción de la energía y por lo tanto en un incremento de las tarifas eléctricas.

La situación se hace más preocupante si se tiene en cuenta que estas perturbaciones son producidas o generadas tanto por los concesionarios o generadores como por los usuarios, pero mientras que, en el caso de los concesionarios o generadores ellos son los principales interesados y cuentan con personal calificado y los equipos necesarios para la medición y el control de estas perturbaciones pues tienen sobre ellos la supervisión del organismo regulador que los sanciona en caso de superar las tolerancias establecidas en las Normas; ello no sucede con los usuarios quienes por lo general carecen de personal técnico y los equipos de medición adecuados que les permita hacer el seguimiento y control de estas perturbaciones y solo le prestan atención ante la presencia reiterada de sus efectos en su sistema o cuando el concesionario los detecta como generadores de estas perturbaciones.

1.2 Alcances

En el presente informe se trata de incidir principalmente en los usuarios de baja y media tensión los mismos que, por su dispersión y gran numero, son los más difíciles de controlar, detectar y son los que mayor incidencia van a tener en generación y propagación de las distorsiones armónicas en las redes y por consiguiente en la calidad del servicio.

1.3 Situación Actual

El gran desarrollo de la electrónica ha generado el uso masivo de componentes electrónicos de potencia en casi la totalidad de los equipos utilizados en todas las

actividades económicas y del quehacer cotidiano, así tenemos que últimamente se ha masificado el uso de: Las PC o computadoras personales, los equipos de impresión, con sus UPS, copiadoras, lámparas fluorescentes, Focos Ahorradores, Hornos microondas, compensadores estáticos, cargadores de baterías, soldadoras, convertidores de estado sólido etc. Y aparejado con ello la aparición de usuarios que presentan una gran concentración de este tipo de equipos como son las cabinas de internet, centros de copiado, galerías comerciales de equipos de computo etc., hace necesario la realización de evaluaciones y mediciones de la presencia de las componentes armónicas en sus sistemas eléctricos a fin de adoptar las medidas que permitan atenuar o eliminar los efectos nocivos de éstas y su difusión en la red que pueda perjudicar a los otros usuarios.

Actualmente, a casi la totalidad de los usuarios de BT no se les hace ningún tipo de evaluación para verificar la existencia de estas componentes que después se transmitirán a toda la red, pues no existe una exigencia precisa en ese sentido, ni existe el personal técnico calificado en la cantidad necesaria para hacer este tipo de evaluaciones así como a los todavía elevados costos de los instrumentos de medición que son necesarios para ello.

Es por ello que el presente informe busca despertar el interés en este tipo de perturbaciones con la finalidad de que se le preste una mayor atención y se pueda promover un estudio a mayor profundidad de estas componentes, del efecto nocivo de su presencia en las redes eléctricas y por tanto en la calidad del servicio eléctrico, afín de que con conocimiento de causa se adopten dispositivos legales de cumplimiento obligatorio para tratar de evitar su proliferación incontrolable, estableciéndose la necesidad de que los usuarios con gran número de equipos electrónicos como son las cabinas de internet, centros de copiados o impresiones, galerías dedicados a artículos informáticos etc. efectúen una evaluación periódica de sus instalaciones eléctricas para detectar la presencia de las componentes armónicas con la finalidad de que, de ser el caso implementen medidas de mitigación o control que permitan evitar los efectos nocivos de éstas y su difusión en las redes, especialmente en lo que se refiere a las sobrecargas de corriente, las cuales pueden generar a la vez, fallas en los equipos de los otros consumidores de la red.

1.3.1 Aspectos Legales

La legislación del Sector eléctrico hace patente la preocupación que existe por la calidad del servicio eléctrico que se presta a los usuarios, tal es así que al liberalizarse las actividades de generación, transmisión y distribución, el Gobierno peruano de entonces promulga el D.S. N° 020-97 de fecha 09/10/1997 mediante el cual aprueba la Norma

Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, la misma que entre sus aspectos mas significativos establece lo siguiente:

i. Objetivo

Establecer los niveles mínimos de de calidad de los servicios eléctricos, incluido el alumbrado público y las obligaciones de las empresas de electricidad y de los clientes que operan bajo la Ley de Concesiones Eléctricas (DL N°25844). Buscando con ello, garantizar a los usuarios un suministro eléctrico, continuo, adecuado, confiable y oportuno

ii.- Base Legal.-

D.L. N° 25844 Ley de Concesiones Eléctricas

D.S. N° 009-93 EM Reglamento de la Ley de Concesiones

iii.- Alcances

Se establece que la Norma es de aplicación imperativa para el suministro de servicios relacionados con la generación, transmisión y distribución de la electricidad sujetos a la regulación de precios y aplicable a los suministros sujetos al régimen de libertad de precios, en todo aquello que las partes no hayan acordado o pactado en contrario.

Establece adicionalmente que, el control de la calidad de los servicios eléctricos se evalúa sobre los siguientes parámetros:

a).- Calidad del Producto el cual comprende:

- Tensión;
- Frecuencia;
- Perturbaciones (Flicker y tensiones armónicas)

b).- Calidad de Suministro:

- Interrupciones

c).- Calidad del Servicio Comercial que comprende:

- Trato al cliente;
- Medios de atención;
- Precisión de medida;

d).- Calidad del Alumbrado Público:

- Deficiencias del Alumbrado.

iv Normas Reglamentarias de Calidad de los Servicios Eléctricos:

Especifica la cantidad mínima de puntos y condiciones de medición, fija las tolerancias y las compensaciones por su incumplimiento; Identifica a cada una de las entidades involucradas directa o indirectamente en la prestación y uso del servicio en lo que se

refiere al control de la calidad del servicio y define sus roles y responsabilidades así se tiene que el:

Suministrador.- Es la entidad que provee un servicio o un suministro de energía a otra entidad o a un usuario final del mercado regulado o libre.

El suministrador es responsable ante los otros suministradores por las interrupciones o perturbaciones que él o un cliente suyo inyecte en la red, asimismo son responsables por las compensaciones que por dicho motivo tengan que hacer sus clientes a terceros o por el deterioro de la calidad del servicio que excedan las tolerancias establecidas en la Norma que surja como consecuencia de permitir la utilización de sus sistemas por parte de terceros, los mismos que de acuerdo a la norma deberán ser compensados.

Cliente, Es todo usuario o entidad que recibe un servicio o suministro de energía para consumo propio o para la venta a terceros, entendiéndose por terceros a todos aquellos que sin participar directamente de un acto particular de compra-venta de un servicio eléctrico, están conectados al sistema o reciben transferencia de energía o influyen en la calidad de la misma.

El Cliente, es responsable ante su suministrador por aquellas perturbaciones que inyecte en la red excediendo las tolerancias establecidas en la Norma, hecho que deberá ser comprobado fehacientemente y notificado por el suministrador para mejorar sus niveles de emisión de perturbaciones en un plazo máximo de 60 días, quedando facultado éste para suspenderle el servicio en caso de incumplimiento del plazo otorgado.

Fija etapas para la aplicación de la norma; estableciéndose 3 etapas en total, siendo las dos primeras etapas de un plazo de 1 año y seis meses c/u, para la implementación y adecuación de la infraestructura necesaria por parte de las suministradoras para el cumplimiento de la norma, debiendo para ello implementar todos los medios de registro y procesamiento de la información para el cálculo de los parámetros, comparación con los estándares de calidad y transferencia de información al organismo supervisor. La tercera etapa de duración indefinida, es en la cual la norma entra en vigencia plena con la aplicación de compensaciones y multas ante las transgresiones de las tolerancias.

En cuanto a la evaluación de la calidad del producto suministrado al cliente establece que, ésta se determinará evaluando las transgresiones de las tolerancias establecidas en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega que serán medidos en periodos de medición definidos para cada tipo de parámetro. Y si en las mediciones efectuadas en esos periodos se comprueba que el indicador de un determinado parámetro

está fuera de los rangos tolerables, entonces la energía o potencia entregada durante ese intervalo se considera de mala calidad. Debiéndose calcular las compensaciones respectivas en función de la potencia contratada o energía entregada.

Para el caso específico de las Perturbaciones y dentro de ellas para las armónicas motivo del presente informe, la evaluación a efectuarse para definir la calidad del producto se hará mediante la determinación de las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y el Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) que se evalúan separadamente para cada intervalo de Medición de Perturbaciones, que como mínimo será de siete (7) días calendarios continuos.

Estableciendo que los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas individuales y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal no deben superar los valores indicados en la norma NTCSE, en la cual se fijan los valores en % de tolerancia para la Distorsión Total de Armónicas de tensión, desde la armónica 2° hasta la 40°.

CAPITULO II LAS COMPONENTES ARMONICAS.

2.1 Conceptos básicos de electricidad.

La electricidad es una de las formas de energía más utilizadas actualmente, pues casi la totalidad de los aparatos y maquinas que son utilizados a diario en los diversos campos del quehacer cotidiano funcionan gracias a esta forma de energía.

Pero para que la electricidad llegue hasta los consumidores finales donde será empleada, es necesario que se le transporte a través de los circuitos eléctricos que alimentan cargas que varían constantemente, hecho que produce una serie de fenómenos de gran importancia, cuyo estudio es hecho en función de magnitudes y unidades eléctricas.

El funcionamiento de las cargas eléctricas que por lo general son: maquinas y aparatos eléctricos tienen sus circuitos que se rigen por una serie de leyes que relacionan las magnitudes tales como la intensidad de corriente, la tensión, la potencia etc.

El uso adecuado de estas leyes, así como las investigaciones en estos campos con la finalidad de lograr una mayor eficiencia, permiten diseñar y construir nuevos dispositivos eléctricos más sofisticados, que buscan lograr un ahorro significativo de la energía que consumen así como mejorar la calidad de vida de las personas.

Los diferentes productos de la energía eléctrica como la luz, el calor y el trabajo obtenido por medio de dispositivos eléctricos alimentados desde un sistema de potencia son actualmente indispensables para la vida de todos los seres, y su falta o restricción produciría una parálisis o caos total de las zonas que pudieran estar sometidos a la falta o restricción del servicio de suministro eléctrico. Por ello para asegurar la adecuada continuidad y calidad en el suministro eléctrico, se hace necesario lograr sistemas con mayor seguridad y eficiencia posible, lo que a la vez implica la necesidad de realizar mayores inversiones para dicho fin.

En ese sentido, el estudio de los flujos de potencia eléctrica en sistemas sinusoidales es bien conocido pues los conceptos de la potencia activa, reactiva y aparente o el factor de potencia, son conocidos y aceptados por todos.

Sin embargo, la aparición de cargas no lineales con gran cantidad de componentes de electrónica de potencia producto del gran avance de ésta, han provocado y seguirán provocando alteraciones de la calidad de los sistemas eléctricos y paralelo a ello han complicado el análisis del flujo de potencias que tiene lugar en ellos.

Pues las intensidades que consumen las cargas y las tensiones que se generan como consecuencia de la circulación de éstas en el sistema, ya no son sinusoidales, sino que están distorsionadas, siendo necesario por ello que, en su estudio se considere el efecto de las correspondientes componentes armónicas.

2.1.1 Circuito eléctrico

Es un conjunto de elementos básicos como resistencias, inductores, capacitores interruptores interconectados entre si a través de los cuales es posible que circule una corriente producto de la aplicación de una tensión o voltaje de una fuente, la misma que va ir disminuyendo por las resistencias. La naturaleza de dicho sistema será función de la naturaleza del generador.

2.1.2 Componentes de los circuitos eléctricos

Las partes que constituyen un circuito eléctrico son los distintos elementos o dispositivos físicos que lo caracterizan y por lo general se clasifican en:

a) Elementos activos

Son los elementos generadores o productores de electricidad, que esta constituido por las fuentes de energía que suministran la tensión y/o la intensidad a los circuitos eléctricos, entre ellos se tiene a los alternadores, dinamos, acumuladores, baterías, pilas etc.

b) Elementos pasivos

Son los elementos receptores de energía eléctrica o carga y pueden ser cualquier tipo de maquinas o aparatos eléctricos de naturaleza resistiva, inductiva, capacitiva o una combinación de ellas y pueden presentarse concentradas en un solo punto o distribuidos a lo largo de todo el circuito.

c) Los conductores

Son materiales que, por lo general ofrecen poca resistencia al paso de la corriente, razón por la cual son los que se usan para unir los elementos activos y pasivos y son a través de los cuales se transportan las cargas eléctricas.

d) Los dispositivos de control y maniobra

Son los elementos que permiten dirigir o interrumpir a voluntad el paso de la corriente eléctrica. Pues estos permiten abrir los circuitos en forma manual o automática mediante la

incorporación de relés térmicos o electromagnéticos o una combinación de ambos. Entre estos dispositivos se tiene a los interruptores, seccionadores, cortacircuitos fusibles etc.

e) Los dispositivos de protección

Son los elementos que detectan las variaciones de tensión y ordenan o disponen la interrupción de la corriente para evitar que los elementos de mayor valor de los circuitos sufran daños.

En general los dispositivos de control, maniobra y protección, permiten gobernar la corriente eléctrica con la mayor eficacia posible, para brindar seguridad a las personas, e instalaciones.

2.1.3 Tipo de señales eléctricas.

En la práctica los tipos de señales eléctricas más utilizadas son:

a) La Corriente directa o continua

Son las que tienen la propiedad de que, los electrones circulan siempre en el mismo sentido y con una intensidad constante por un conductor. Su amplitud no varía en el tiempo y su frecuencia es cero. Generalmente es producida por: dinamos, pilas, acumuladores y células fotovoltaicas.

b) La corriente alterna

Son las que se caracterizan porque los electrones circulan un tiempo en un sentido y después en sentido opuesto, tomando valores distintos que se repiten con el tiempo, siendo su frecuencia un valor distinto de cero. En este tipo de señal varían tanto la tensión (V) como la Intensidad de corriente (I). Es producida por los alternadores y matemáticamente se representan generalmente por una función sinusoidal como la mostrada en la Figura 2.1

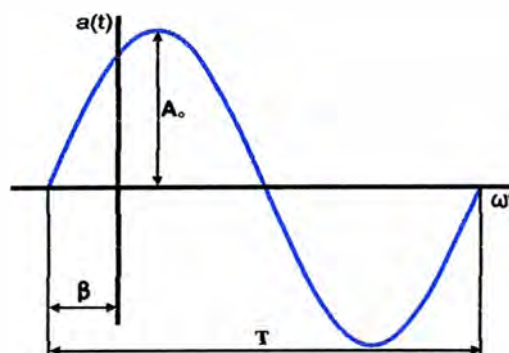


Fig. 2.1 Señal sinusoidal de tensión o corriente alterna

Es el tipo de señal más difundida y utilizada por prácticamente casi la totalidad de usuarios del servicio eléctrico para alimentar sus diversos artefactos electrodomésticos debido a su facilidad y la economía con que puede ser transportada a largas distancias.

Los diferentes estudios relacionados con la corriente alterna se realizan usando modelos considerando señales alternas periódicas de tipo sinusoidal.

2.1.4 Parámetros característicos de las señales alternas.

Las señales sinusoidales de tensión $v(t)$ o corriente, $i(t)$ se pueden expresar matemáticamente según sus parámetros característicos, como una función del tiempo por medio de la siguiente ecuación:

$$i(t) = I_0 \text{sen}(\omega t + \beta) \quad (2.1)$$

Donde:

$i(t)$: Valor instantáneo de la corriente en el tiempo t .

I_0 : Valor máximo de la corriente, corriente pico o Amplitud de la señal sinusoidal.

ω : Frecuencia angular en rad/seg = $2\pi f$

t : Tiempo en segundos,

β : Angulo de desfase en el instante $t=0$

f : Frecuencia en hercios Hz, igual a $f = 1/T$ que por lo general es igual a 50 ó 60 Hz.

a) Valor medio

Es el valor del área que la función forma con el eje de las abscisas entre su periodo. El área se considera positiva si está por encima del eje de las abscisas y negativa si está por debajo. Como en las señales sinusoidales el semiciclo positivo es idéntico al negativo, su valor medio es nulo. Por tanto el valor medio de una onda sinusoidal se refiere a un semiciclo y está definido como:

$$I_m = \frac{2I}{\pi} \quad (2.2)$$

b) Valor eficaz (rms):

Es el valor de la tensión o corriente que produce el mismo efecto calorífico que su equivalente en corriente continúa aplicada sobre una determinada resistencia, durante un determinado tiempo. Matemáticamente, el valor eficaz de una magnitud variable en el tiempo es definido como la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de los valores instantáneos alcanzados durante un periodo.

En el campo industrial, el valor eficaz es de gran importancia ya que al utilizar corriente alterna sinusoidal, casi todas las operaciones con magnitudes energéticas se hacen con este valor que es medido con los instrumentos de medición de corriente alterna y es definido como:

$$I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad (2.3)$$

c) Ciclo

Es la repetición de la forma de onda.

d) Periodo

Es el tiempo que dura un ciclo o que tarda en producirse una oscilación completa y es medido en segundos.

e) Frecuencia

Es el número de oscilaciones en la unidad de tiempo. Se mide en ciclos /seg.

2.2 Componentes armónicas

2.2.1 Definición de armónicas

Las armónicas son tensiones o corrientes sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual los sistemas eléctricos están diseñados para operar, que surgen como consecuencia de la interacción de las empresas suministradoras sobre algunas partes del sistema o de los usuarios dentro de sus instalaciones, que hace que, se presenten otros flujos eléctricos a otras frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación de dichos sistemas eléctricos que por lo general son de 50 o 60 ciclos/seg. [11]

Estos flujos que se presentan en los sistemas eléctricos se producen principalmente, debido a la presencia en éstos, de cargas con impedancia no lineal (lo cual significa que éstas no son constantes y están en función de la tensión), materiales ferro magnéticos, y en general al uso de equipos que a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal normal, absorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo Φ respecto de la tensión. Estas corrientes no lineales al circular por las impedancias del sistema producen a su vez caídas de tensión no lineales que producen finalmente la modificación o distorsionan la forma de onda de la tensión suministrada.

Según las series de Fourier, cualquier señal periódica distorsionada, por complejas que sean, se pueden descomponer en una suma de señales sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos de la fundamental:

$$v(t) = \sum V_1 \cdot \text{sen}(2\pi f_1) + V_2 \cdot \text{sen}(2\pi \cdot 2f_1) + \dots + V_n \cdot \text{sen}(2\pi \cdot n f_1) \quad (2.4)$$

Esta expresión matemática permite descomponer cualquier señal en una suma de señales sinusoidales, donde f_1 es la frecuencia de la componente fundamental y V_1, V_2, \dots Son las amplitudes de las distintas sinusoidales cuya expresión matemáticas para calcularlas también están definidas en las series de Fourier.

En la Figura 2.2, se presenta la forma de onda fundamental de 60 Hz. distorsionada por efecto de la presencia de la tercera armónica de 180 Hz. distorsión de onda que será mayor cuanto mayor presencia de armónicas exista.

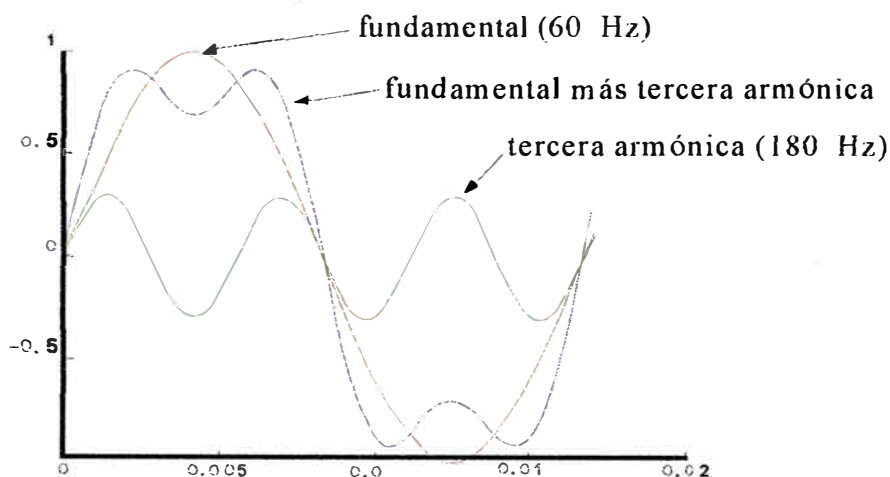


Fig. 2.2 Forma de onda deformada por presencia del tercer armónico

2.2.2 El origen de las armónicas y la eficiencia energética

Los componentes armónicos siempre han estado presentes en los sistemas eléctricos desde sus inicios, habida cuenta que, estos surgen como consecuencia del uso de materiales ferro magnéticos, de rectificadores de ca. a cd., convertidores de cd./ca., de reguladores de velocidad etc.

El crecimiento acelerado del costo de la energía y la cada vez mayor dependencia de la energía eléctrica para alimentar cargas de diferente índole, ha generado a la vez, un gran desarrollo de nuevas tecnologías con la finalidad de mejorar la eficiencia energética de los diferentes equipos que conforman los diferentes sistemas eléctricos ya sea del lado de los suministradores como de los usuarios, estas nuevas tecnologías que tienen como base la aplicación masiva de la electrónica de potencia, ha dado lugar a un crecimiento importante de cargas no lineales que son nuevas fuentes generadoras de distorsión armónica en los sistemas de suministro eléctrico.

2.2.3 Cargas

Los sistemas eléctricos son el resultado de la interconexión de diferentes bloques básicos que por lo general están constituidos por resistencias, inductancias y condensadores de valores fijos o por la combinación de ellas que en conjunto conforman las impedancias, a las cuales en las ultimas décadas se han adicionado diferentes elementos de electrónica de potencia que en conjunto vienen a ser un nuevo tipo de carga.

a) Cargas lineales

Se dice que una carga es lineal, cuando al aplicárseles un voltaje sinusoidal directamente a cargas como las resistencias, inductancias, capacitores o una combinación de estos, se obtiene como respuesta una corriente proporcional que también es sinusoidal, entonces se dice que se esta una carga lineal Figura N° 2.3

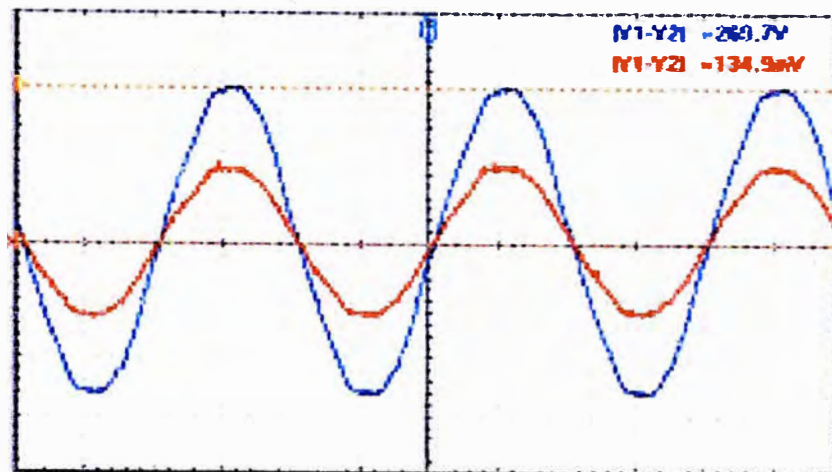


Fig. N°2.3 Forma de onda de una carga lineal lámpara incandescente

b) Cargas no lineales

Si por el contrario, al aplicar el mismo voltaje sinusoidal a la carga da como resultado una corriente no proporcional y se presenta como una señal distorsionada con respecto a la sinusoidal, entonces se está ante una carga no lineal cuya curva característica se observa en la Figura N° 2.4.

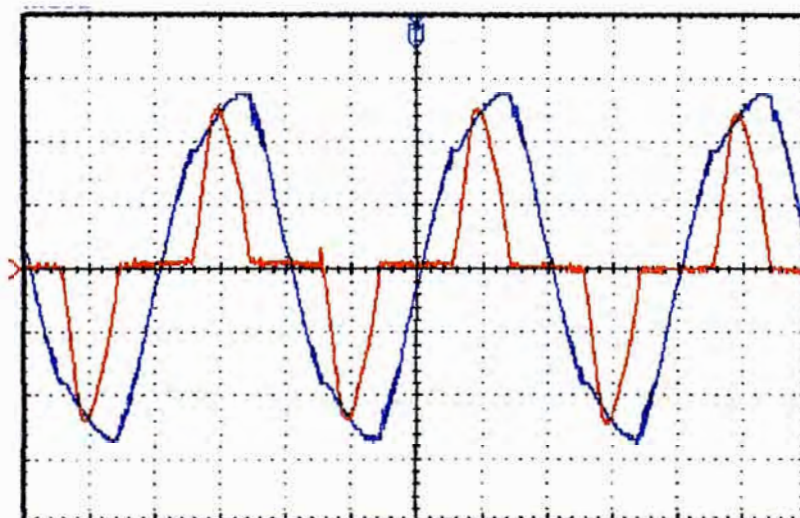


Fig. 2.4 Forma de onda de una carga no lineal

Por tanto es la curva característica corriente – voltaje de la carga la que define si ésta es lineal o no [8]

La distorsión armónica en los sistemas eléctricos es provocada por las cargas no lineales, que producen las componentes armónicas que van a contaminar los sistemas al desplazarse a través de él.

2.2.4 Características que definen a las armónicas

Las características principales que definen a las componentes armónicas son: el orden y la amplitud.

a) Orden de la armónica

El orden de la armónica, también referido como el rango es el número entero de veces que la frecuencia de ese armónico es mayor que el de la componente fundamental (que se considera de orden 1). Por ejemplo, el armónico de orden 3 es aquel cuya frecuencia es 3 veces superior al de la fundamental, así se tiene que, si la frecuencia de la componente fundamental es de 60 Hz. el armónico de orden 3° tendrá una frecuencia de 180 Hz. y las de orden 7° tendrán una frecuencia de 420 Hz.

En resumen el orden del armónico es la razón entre la frecuencia de un armónico f_n y la frecuencia de la fundamental (60 Hz en el caso del Perú)

$$n = f_n / f_1 \quad (2.5)$$

Donde: f_1 por principio, por ser la fundamental tiene orden 1

b) La amplitud

La amplitud de la onda es el valor máximo, tanto positivo como negativo, que puede llegar a tener el armónico.

Los armónicos están generalmente expresados en términos de su valor eficaz (rms) dado que el efecto calorífico depende de este valor de la onda distorsionada.

Para una onda sinusoidal el valor eficaz es el máximo valor dividido por la raíz de 2. Para una onda distorsionada, bajo condiciones de estado estable, la energía disipada por el efecto Joule es la suma de las energías disipadas por cada una de las componentes armónicas.

Luego la energía total disipada será:

$$RI^2t = RI_1^2t + RI_2^2t + \dots + RI_h^2t \quad (2.6)$$

Luego si se asume que la resistencia R es una constante, de la Ecuación 2.6 se deduce que:

$$I_{rms}^2 = I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_h^2 \quad (2.7)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=} I_h^2} \quad (2.8)$$

En esta expresión se puede observar el efecto principal de los armónicos que es el incremento del valor eficaz de la corriente que atraviesa un sistema eléctrico debido a los componentes armónicos que lleva asociada una onda distorsionada.

2.2.5 Clasificación de las componentes armónicas.-

Las armónicas pueden ser clasificadas en dos tipos:

a) Armónicas de orden impar

Son los que se encuentran habitualmente en las instalaciones eléctricas, industriales y edificios comerciales en las que, por lo general solo circula por sus sistemas eléctricos corriente alterna o sea señales simétricas. Estos armónicos se añaden por lo general al neutro.

Los armónicos impares son: 3, 5, 7, 9, 11, etc.

b) Armónicas de orden par

Son las que aparecen cuando por los sistemas eléctricos circulan tensiones o corrientes con componente continua o sea cuando hay asimetría en las señales debido a la presencia de éstas. La presencia de los armónicos pares, es a menudo un indicio de la presencia de algún problema en la red que se analiza o en el equipo de medida que realiza el registro. La componente continúa de la tensión o corriente son las componentes de orden cero de la serie de armónicos.

Los armónicos pares son: 2, 4, 6, 8, 10, etc.

2.3 Distorsión armónica

Cuando las señales de voltaje o corriente de un sistema eléctrico tienen deformaciones con respecto a la forma de onda sinusoidal de alimentación, se puede afirmar que la señal está distorsionada, la misma que puede deberse a:

- Fenómenos transitorios producidos por efectos de tormentas eléctricas, fallas de cortocircuitos, parada o entrada de grandes cargas etc.
- Condiciones permanentes, que están relacionadas con armónicas de estado estable. En los sistemas eléctricos es común encontrar que las señales tendrán una cierta distorsión que cuando es baja, no ocasiona problemas en la operación de los equipos.

2.3.1 Características de la distorsión armónica

Para que, las señales de onda de tensión o corriente distorsionadas (con respecto a la onda que teóricamente debe ser sinusoidal) medidas en cualquier parte de un sistema eléctrico puedan ser consideradas distorsionada por componentes armónicos, deberían cumplir con las siguientes condiciones [8]:

- Que la señal tenga valores definidos dentro del intervalo, lo cual implica que la energía contenida es finita.
- Que la señal sea periódica, teniendo la misma forma de onda en cada ciclo de la señal de corriente o voltaje.
- Que la señal sea permanente, pues la distorsión armónica se presenta en cualquier instante de tiempo, es decir que no es algo pasajero.

2.3.2 Distorsión armónica por corriente

Es la que surge generalmente como consecuencia de la alimentación de una carga no lineal con una señal sinusoidal la cual da lugar a la circulación de una señal de corriente distorsionada, no sinusoidal y desfasada de la tensión aplicada, convirtiéndose en una especie de fuente de corriente que inyecta distorsiones en la red.

2.3.3 Distorsión armónica por tensión

Son las distorsiones que mayoritariamente surgen como consecuencia de la circulación de corrientes distorsionadas por la red, cuya presencia provoca caída de voltajes distorsionados que hacen que, a los nodos del sistema no lleguen voltajes puramente sinusoidales.

2.3.4 Parámetros de la distorsión armónica

La distorsión armónica de una forma de onda representa el contenido de armónicos que tiene esa señal. Luego la cuantificación de la cantidad de distorsión que presenta dicha forma de onda de tensión o corriente se realiza con el uso de instrumentos de medición adecuados y los parámetros definidos para tal fin, teniéndose entre estos últimos a los siguientes:

a) Valor eficaz (rms)

Es el valor resultante de la suma de señales de voltaje o corriente de diferentes frecuencias, así se tiene que:

$$\text{Corriente eficaz (rms)} \quad I_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=\infty} I_h^2} \quad (2.9)$$

$$\text{Voltaje eficaz (rms)} \quad V_{\text{rms}} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h=\infty} V_h^2} \quad (2.10)$$

b) Factor armónico total (THF)

En algunos países de Europa se mide la distorsión armónica con el Factor Armónico Total (THF), definida como el cociente entre el contenido armónico de la señal y su valor eficaz, que siempre es menor a 100% por lo cual no está bien adaptado para señales muy deformadas ya que no puede sobrepasar el 100 %, a diferencia de la THD que se define más adelante.

$$\text{THF}_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} V_h^2}}{V_{\text{rms}}} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$\text{THF}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} I_h^2}}{I_{\text{rms}}} \times 100\% \quad (2.12)$$

c) Distorsión armónica total (THD)

Este parámetro de medición de la distorsión armónica total, es el más conocido y está definido como el cociente de contenido armónico de la señal entre la componente fundamental o primera armónica según las ecuaciones siguientes:

$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{n=\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (2.13)$$

$$\text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \quad (2.14)$$

Donde: V_1 y I_1 son los valores eficaces de las componentes fundamentales de tensión y corriente respectivamente.

V_h y I_h son los valores eficaces de los armónicos

Cuando se trata de armónicos en las instalaciones eléctricas, son los de corriente los más importantes y de más cuidado a tener, pues los armónicos se originan como corrientes y la mayoría de sus efectos nocivos se deben a estas corrientes.

Por tanto para cualquier análisis de ellas es importante conocer el espectro de las corrientes armónicas presentes, aunque lo más usual es el trabajar con los valores de la distorsión armónica total (THD). Por otra parte cuando los armónicos se propagan a través de los sistemas eléctricos hacia las otras partes del sistema que no están contaminadas por componentes armónicos, por lo general lo hacen en forma de tensión. Por lo cual es necesario e importante que se midan los valores tanto de la tensión y de corriente y que dichos valores estén indicados claramente como valores de tensión y corriente.

d) Espectro armónico

El espectro armónico permite descomponer una señal en sus armónicos y representarlo mediante un gráfico de barras, en el cual cada barra representa un armónico, con una frecuencia, un valor eficaz, magnitud y desfase.

El espectro armónico es una representación en el dominio de la frecuencia de la forma de onda que se puede observar con un osciloscopio. Cada barra representa un armónico, pudiendo tener armónicos de orden 3, 5, 7,... etc. El espectro armónico de una señal deformada llega hasta el infinito, sin embargo por convenio se limita el número de armónicos que se analizan hasta el de orden 40, ya que por encima de él rara vez se tienen armónicos de un valor significativo que pueda perturbar el funcionamiento de los equipos y elementos conectados a las redes eléctricas, Figura N° 2.5

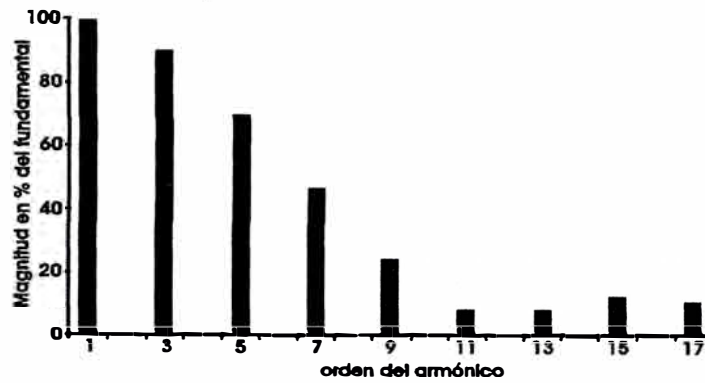


Fig. 2.5 Espectro armónico de una PC típica

2.4 Fuentes generadoras de armónicas

Entre las fuentes generadoras de armónicos se tienen dos categorías, la primera de las cuales está conformada por las cargas no lineales en las que, la corriente que fluye por ellas no es proporcional a la tensión aplicada, o sea que, cuando se aplica a estas cargas una tensión sinusoidal de una sola frecuencia, la corriente resultante no es de una sola frecuencia sino que por el contrario, ésta presenta componentes con diferentes frecuencias. En resumen se puede asumir que las cargas no lineales se comportan como fuentes de corriente que inyectan armónicos de diferente frecuencia a la red que la alimenta.

En éste tipo de fuentes generadoras se encuentran los diferentes equipos u aparatos eléctricos modernos que entre sus componentes cuentan con transformadores que se saturan, reguladores de tensión, diodos y otros elementos semiconductores de la electrónica de potencia. Invariablemente esta categoría de generadores de armónicos, lo harán siempre que estén energizados con una tensión alterna.

El segundo grupo o categoría de fuentes generadoras de armónicos, son aquellos que tienen una impedancia dependiente de la frecuencia. Pues si se tiene en cuenta las formulas que definen su impedancia como son los casos de las inductancias o capacitancias cuyas formulas son:

Para la Impedancia inductiva

$$X_L = 2 \pi fL \quad (2.15)$$

Y la fórmula que determina la impedancia capacitiva:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.16)$$

De acuerdo a estas formulas estos elementos pueden tener una impedancia constante para una determinada frecuencia, pero si se incrementa la frecuencia la impedancia varía en función de ésta, así se tiene por ejemplo que, si se tiene una impedancia para 60 ciclos esta impedancia a 120 ciclos se incrementará al doble para las inductivas y se reducirá a la

mitad para los capacitivos. Como estos elementos están siempre presentes en Filtros eléctricos y electrónicos, servomecanismos de motores, variadores de velocidad de motores, estos no generarán armónicos si son energizados con una tensión de una sola frecuencia, sin embargo, si distorsionan la entrada, ante la presencia de señales con más de una frecuencia. Estos elementos pueden mitigar o incrementar el problema del contenido de armónicos. Las dos categorías de equipos generadores de armónicos, pueden originar una interacción compleja en la cual la energía de los armónicos es transformada o multiplicada de una frecuencia a otra.

2.4.1 Clasificación de las fuentes generadoras de armónicas

Según la norma IEEE 519-1992 sobre “Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicos en sistemas eléctricos de potencia”

Las fuentes emisoras de armónicos se clasifican en tres grupos o categorías diferentes que son las siguientes:

- Dispositivos electrónicos de potencia
- Dispositivos productores de arcos eléctricos
- Dispositivos Ferro magnéticos.

Entre los equipos que se ubican en estas tres categorías se tienen:

Computadoras

Fuentes ininterrumpidas UPS

Equipos electrónicos

Inversores de Frecuencia

Motores de corriente directa accionado por tiristores

Hornos de arco

Hornos de inducción

Equipos de soldadura

Transformadores sobreexcitados etc.

De la relación de fuentes generadoras señaladas anteriormente se puede observar que la gran cantidad de equipos generadores de armónicos, en la mayoría de los sistemas eléctricos son conectados por los usuarios a los sistemas eléctricos.

2.5 Fuentes generadoras de armónicas de mayor presencia en baja tensión.

Los usuarios residenciales, comerciales y pequeños industriales, son los que tienen la mayor cantidad de equipos generadores de armónicos como son: hornos de microondas, computadoras, sistemas con control robótico, televisión, VCR, estéreos, lámparas

fluorescentes en sus diferentes tipo y otros equipos como ventiladores eléctricos y simples motores de inducción trabajando sobrecargados. Son los que mas contribuyen a la generación de cantidades variables e importantes de armónicos que al sumarse o combinarse con armónicos generados por diferentes fuentes pueden propagarse a diferentes partes del sistema eléctrico afectado y originar serios problemas al sistema eléctrico desde donde estos son alimentados.

Como la preocupación principal del presente informe es el efecto de los armónicos generados por los usuarios residenciales y comerciales, se presenta una breve descripción de los equipos generadores de armónicas de uso más difundido entre ellos como son:

a) Lámparas fluorescentes con balastos magnéticos

Los tubos de luz fluorescente son altamente no-lineales y dan lugar a corrientes armónicas impares de magnitud importante siendo la 3a. armónica la más dominante. En un circuito trifásico de 4 hilos, las armónicas triples básicamente se suman en el neutro.

Los circuitos de iluminación involucran frecuentemente grandes distancias con muy poca diversidad de carga en los que la corrección del factor de potencia empleando capacitores individuales se forma el circuito complejo LC que se puede aproximar a una condición de resonancia en la 3° armónica, por lo cual para eliminar esta posibilidad es conveniente efectuar la compensación para el conjunto y no con compensación individual. [14]

En la Figura 2.6 se muestran la Curva de corriente y el espectro armónico típico de una lámpara fluorescente con balastro magnético.

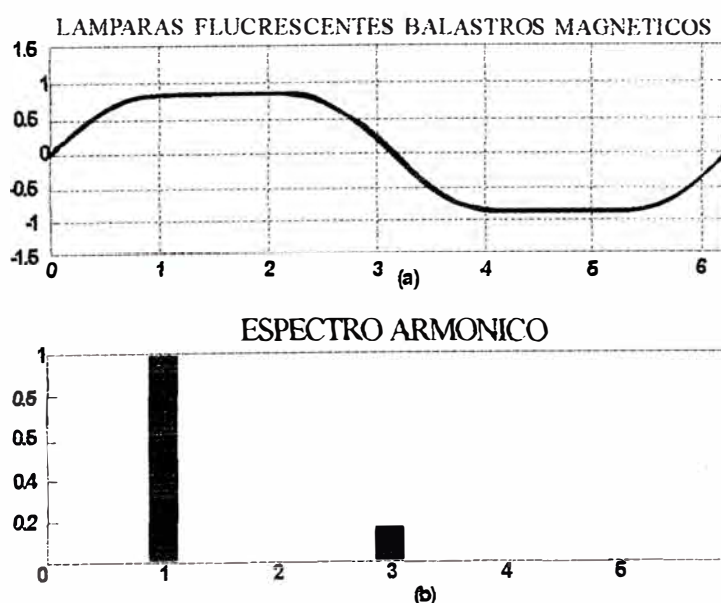


Fig.2.6 Curva de corriente y espectro armónico de Lámpara fluorescente con balastro magnético

b) Equipos con rectificadores de baja potencia

Los rectificadores de baja potencia que son dispositivos construidos con componentes de electrónica de potencia son usados mayormente para alimentar a diferentes equipos, representa una fuente muy importante de armónicos, por lo tanto los equipos que lo emplean para su alimentación contribuirán a la distorsión armónica. Entre los equipos más representativos de ello y también los de uso masivo se tiene a los televisores y los cargadores de baterías.

Los televisores

Son equipos que generalmente se alimentan por un rectificador y una alta capacitancia suavizante. Algunos receptores de generaciones anteriores utilizan rectificación de media onda y por lo tanto producen niveles considerables de corriente directa y armónicas de orden par. Los receptores modernos utilizan rectificación de media onda con tiristores para proteger los circuitos electrónicos. Sin embargo, esto resulta en un mayor contenido armónico.

La tendencia en los receptores a color es hacia reguladores a base de transistores e inversores con protección para sobretensiones y sobre corrientes, y mejora en la eficiencia en los circuitos. Sin embargo, la tendencia a tener un mayor número de equipos o aparatos en el hogar, compensa la reducción de corriente que demanda cada unidad. Por otro lado no es probable que se reduzca la componente de 3a. armónica, excepto a un gran costo para el consumidor.

Cargadores de baterías

Las armónicas individuales que generan el circuito en un cargador de baterías dependen del voltaje inicial en la misma y el contenido armónico global varía de acuerdo al tiempo e involucra probabilidad aleatoria.

Así como en televisores, radios, estéreos y otros artículos que emplean corriente directa, los cargadores de baterías producen corrientes de secuencia cero de armónicas triples, las cuales sobrecargan al circuito neutro.

Para empeorar las cosas, la luz fluorescente también produce armónicas triples con la misma relación de fase. Más aún, el ángulo de fase de la tercera armónica no varía lo suficiente como para sumar cancelación de armónicas al operar varios cargadores de baterías, de tal manera que las terceras armónicas se suman casi algebraicamente.

c) Equipos con fuentes de poder en modo de conmutación

La mayoría de los equipos electrónicos tales como computadores personales, máquinas copadoras y fax, cuentan con una fuente regulada por conmutación. Estas fuentes demandan

corriente en un pulso corto de cada medio ciclo. Cuando el voltaje se encuentra cerca de su valor máximo. La corriente demandada por estas fuentes tiene una alta distorsión armónica total y un alto contenido de tercera armónica. [14]

Las computadoras personales

Las computadoras personales o PC, que son alimentados con fuente de poder en modo de conmutación, que le da la característica de carga no lineal, es actualmente una de las principales fuentes de distorsión en las redes de baja tensión por ser el equipo de mayor uso masivo en todas las actividades del quehacer cotidiano, por el régimen de uso continuo que se le da, así como al numero de unidades por vivienda.

Las computadoras personales son generadoras principalmente de los armónicos de 3^o, 5^o, 7^o En las figuras 2.7 y 2.8 se muestran la forma de onda de corriente y el espectro típico:

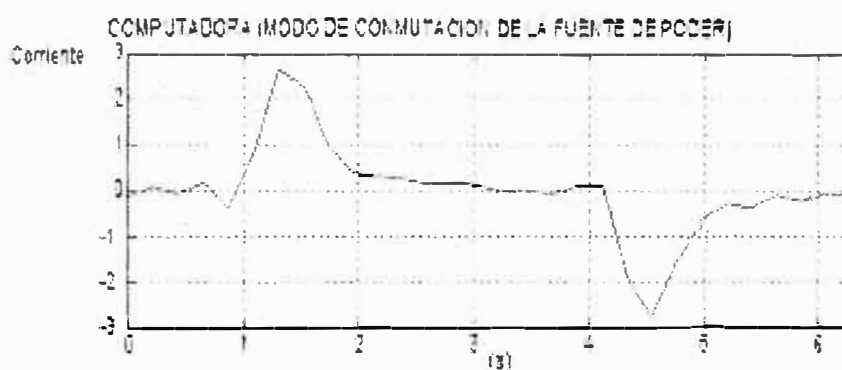


Fig. 2.7 Curva de corriente de fuente de poder de computadora

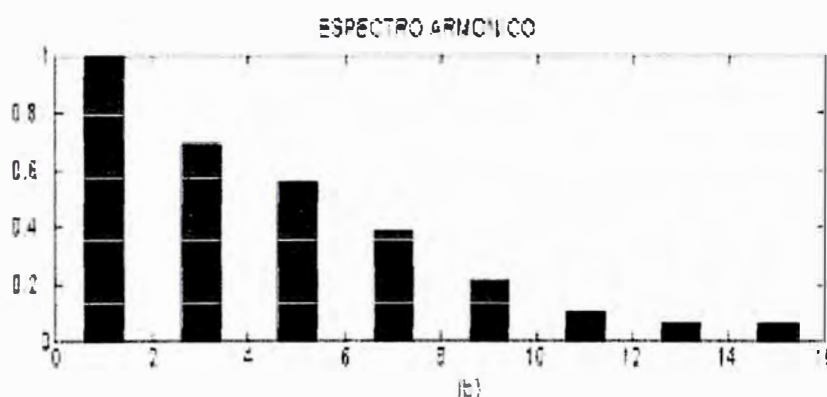


Fig. 2.8 Espectro armónico de Fuente de poder de computadora

Lámparas fluorescentes compactas

Las lámparas fluorescentes son otro tipo de carga de uso masivo, que genera armónicas, estas armónicas son generadas por el efecto de los balastos y los dispositivos no lineales y electrónicos que utilizan para su funcionamiento. [14]

Dado que, este tipo de lámparas tienen precios muy superiores a las incandescentes, algunos fabricantes han diseñado balastos baratos que no realizan ni la corrección del

factor de potencia, ni el filtrado de los armónicos. La figura 2.9 siguiente muestra la forma de onda y el espectro típico de las corrientes armónicas para lámparas de este tipo en las que se puede observar que las armónicos de mayor presencia son la 3era., 5ta. y 7ma.

Actualmente este tipo de lámparas han desplazado prácticamente del mercado a las lámparas tipo incandescente y constituyen las principales cargas de alumbrado en domicilios, negocios y oficinas a ser atendidas.

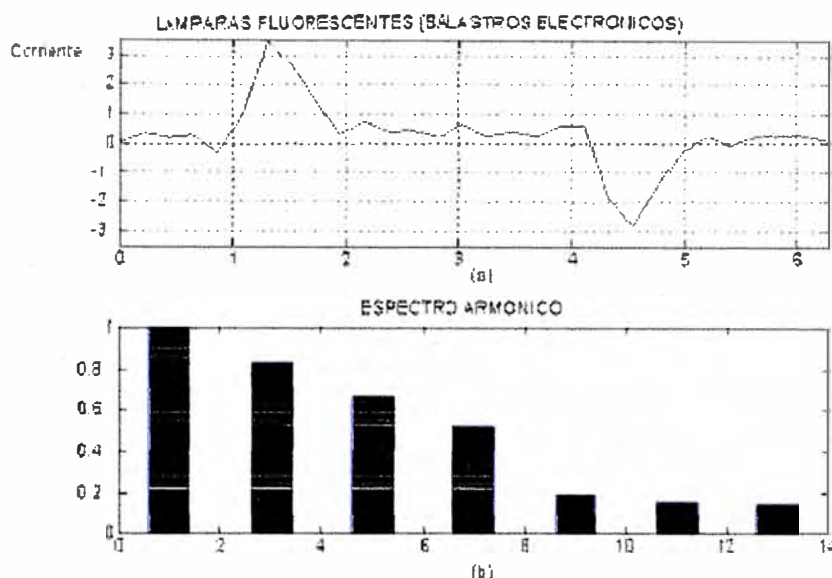


Fig. 2.9 Curva de Corriente y Espectro armónico de Lámpara fluorescente con balastro electrónico

Existen investigaciones realizadas por diferentes autores [14], [15]; que han realizado estudios sobre las Armónicas producidas por las lámparas CFL que demuestran que, éstas pueden alcanzar valores del factor de distorsión de corriente THDi superiores a 88.5 % y factores de potencia capacitivo que al interactuar con las otras cargas ayudarán a mejorar el factor de potencia tal como se muestra en la Tabla N° 2.1 para el caso de una carga compuesta por un motor + lámparas CFL

TABLA N° 2.1 Valores de THDi, f. de p., conjunto de lámparas CFL + motor

	I% Motor	I% Lámparas	I % Conjunto	Armónico	% I rms Motor	% I rms Lámparas.	% I rms Conjunto.
RMS	0.83	0.92	1.17	2	0.23	0.20	0.16
Pico	1.20	3.33	3.05	3	2.56	45.35	36.64
Crest	1.45	3.62	2.60	4	0.08	0.54	0.16
THDi %	9.00	88.50	65.32	5	8.22	23.83	23.26
φ	72° ind.	32° cap.	28° ind.	6	0.30	0.34	0.05
f. p	0.32	0.64	0.74	7	0.45	25.12	19.89
Dfp	0.31	0.84	0.88	8	0.98	0.68	0.05
				9	0.98	18.13	14.88

Asimismo se han hecho ensayos sobre el incremento de los índices de distorsión armónica de corriente (THDi) y de tensión (THDv) que generan las lámparas fluorescente compactas (LFC) en la variación del factor de potencia en función del porcentaje que éstas representan con respecto a la carga total de iluminación (CI) y la carga total del transformador (CT) que se muestra en la Tablas N° 2.2

TABLA N° 2.2 Valores de THDi, THDv y f. de potencia, en función del porcentaje de lámparas compactas

LFC/CI (%)	PORCENTAJES			
	10	25	50	100
THDi (%)	1.70	4.50	9.80	23.50
F. p.	0.84	0.82	0.78	0.65
LFC/CT (%)	1.50	4.10	9.40	26.30
THDv (%)	0.30	0.70	1.50	4.40

De acuerdo al objetivo del Informe se han descrito algunas de las principales fuentes generadoras de armónicas que están presentes en la red de baja tensión que por lo general pertenecen a usuarios domésticos, comerciales o pequeñas industrias. En la Tabla N° 2.3 se presenta la tasa THDi para algunos equipos de uso común en baja tensión:

TABLA N° 2.3 TDHi, factor de potencia y desfase para algunos electrodomésticos de uso masivo

Equipo	Dpf	f.p	THDi
U. P. S.	0.639	.598	36.8 *
Reg. de vel. - ASD.	0.662	0.454	96.6
Fotocopiadora	0.089	0.104	90.0*
Lámpara FLC	0.97	0.591	124.9*
Fluorescente(1)	0.956	0.95	10.4*
Soldadura elect.	0.999	0.971	22.8
Refrigeradora(1)	0.793	0.785	17.2*
Televisor	0.995	0.873	52.1
Licuada	0.664	0.661	9.6
Convertidor AC/DC	0.938	0.929	13.8*
Ventilador	0.999	0.999	1.8
Horno microondas	0.998	0.982	18.2
Aspiradora	0.951	0.921	26.0
Computador + imp.	0.999	0.58	140.0*

* Presentan factor de potencia capacitivo

En esta oportunidad se ha presentado para cada caso, el espectro armónico correspondiente a cada tipo de fuente, pues se la considera importante para hacer estudios de redes eléctricas con elementos que inyectan armónicos. Pero deberá tenerse presente que, la interacción de los armónicos introducidos en la red por los diferentes tipos de carga es en magnitud y su ángulo de desfase, por lo que la interacción de los mismos dará lugar a que algunos se refuercen y otros se reduzcan por lo que no se puede formular un criterio general para determinar el contenido armónico total de la red.

2.6 El problema de las armónicas en los sistemas eléctricos.

La presencia de las armónicas de corriente, son las que ocasionan mas problemas en el sistema eléctrico como en la instalación propia, pues en la mayoría de los casos se origina al conectar las cargas propias a las redes, por tanto las soluciones a estos problemas son muy distintos en cada caso por lo cual deben abordarse por separado; pues es posible que algunas medidas utilizadas para controlar los efectos de las armónicas dentro de la instalación propia no reduzcan necesariamente la distorsión producida en el suministro y viceversa.

Las armónicas de corriente tendrán como uno de sus efectos principales la aparición de un flujo de potencia distorsionante que fluye de la fuente a la red eléctrica y viceversa, que solo es consumida como pérdidas por efecto Joule que al transformarse en calor va ser el elemento desencadenante de los efectos nocivos en los diversos componentes de los sistemas eléctricos. Adicionalmente, dependiendo de la magnitud de su presencia en el sistema eléctrico y su desplazamiento por las líneas, propiciará la aparición de voltajes no sinusoidales en los diferentes nodos del sistema haciendo más agudos los problemas que pueden presentarse por esta causa, debido a su efecto multiplicador.

En general se puede afirmar que los efectos que produzcan las armónicas dependerán también en alguna medida, de la proporción que exista entre la carga no lineal y la carga total del sistema, aunado a que se debe mantener la distorsión dentro de los límites establecidos por las normas.

En la literatura existente al respecto, se tiene información de que, generalmente cuando la carga no lineal representa menos del 20 % de la carga total, la distorsión armónica de corriente estará dentro de los límites establecidos por la Norma 519 de la IEEE, sin que exista necesidad de efectuar algún tipo de filtrado, afirmación que deberá ser corroborada o desechada en cada caso al realizarse los estudios de las componentes armónicas que afectan a cada sistema en particular.

2.6.1 Efectos producidos por las armónicas

Existen una diversa gama de efectos nocivos producidos por las armónicas que pueden ser generados tanto por las armónicas de corriente como los de tensión y sus efectos sobre los sistemas eléctricos pueden ser inmediatos o a mediano plazo dependiendo de la sensibilidad del elemento de la red sobre la que actúa.

Los efectos nocivos de las armónicas dependen mucho del tipo de carga encontrada, así se tiene que, éstos pueden ser de efectos instantáneos o a mediano y largo plazo.

a) Efectos instantáneos

Los efectos instantáneos de las armónicas, son generalmente aquellos que se generan en los sistemas contaminados en tiempos relativamente corto desde el momento de la aparición del flujo de armónicos como son: El incremento de la perdidas por efecto Joule en cada uno de los elementos componentes del sistema eléctrico; La alteración de la programación de la coordinación de los sistemas de protección como es la operación incorrecta de fusibles, de interruptores (breakers) y equipos y/o sistemas digitales de protección

Entre estos efectos se tienen también, las lecturas erróneas de los parámetros eléctricos con el uso de los instrumentos de medición de tipo electromagnético, distorsión de las señales aplicadas a los controles utilizados en los sistemas electrónicos; generación de vibraciones y ruidos en equipos electromagnéticos como transformadores, motores, reactores etc. Generación de interferencias en las redes de comunicación cercanas a las líneas de distribución eléctricas que conducen corrientes distorsionadas.

b) Efectos a largo plazo

Entre los principales efectos a largo plazo de los armónicos se manifiestan principalmente en la disminución del tiempo de vida de los componentes de los sistema eléctrico como consecuencia del calentamiento que sufren por el incremento de las perdidas por efecto Joule, pérdida de la rigidez dieléctrica por efectos de las sobretensiones etc.

De acuerdo a las Normas de fabricación para cada uno de los elementos o equipos, los fabricantes establecen los límites o condiciones de funcionamiento de sus equipos que les permite garantizar una operación adecuada y un tiempo de vida determinado, si durante la operación de estos elementos o equipos estos limites son superados, el resultado natural de ello será el envejecimiento y la falla de estos. Existen estudios realizados que indican que:

La sobreelevación de 10°C en la temperatura del aislamiento de los conductores por periodos prolongados, reduce su vida a la mitad.

De igual manera un incremento sostenido de la tensión nominal del dieléctrico del capacitor le reduce la vida a la mitad.

Asimismo, estudios realizados sobre los efectos de la distorsión armónica, muestran reducciones del orden de 20 a 30 % en la vida de los capacitores y de 10 a 20 % en la vida de los transformadores.

2.7 Efectos según el componente sobre el que actúan

Los efectos nocivos mas frecuentes de la distorsión armónica en los sistemas eléctricos según la parte del sistema eléctrico sobre el que actúa, pueden ser:

2.7.1 Resonancias

La presencia de elementos inductivos como capacitivos en los sistemas eléctricos con presencia de armónicos puede provocar resonancia, lo que da como resultado valores muy altos o bajos de impedancia, la misma que va producir a la vez variaciones significativas de la corriente y la tensión en el sistema eléctrico.

2.7.2 Aumento de las perdidas

La potencia activa transmitida a una carga depende de la corriente fundamental en un sistema con carga lineal. Cuando la corriente absorbida contiene armónicas, el valor eficaz de la corriente I_{rms} es superior a la fundamental I_1 .

Por tanto las corrientes armónicas provocan un aumento de las perdidas Joule en todos los conductores, equipos y maquinas por los que circulan y con ello un aumento adicional de la temperatura en todos ellos.

2.7.3 Sobrecarga de los equipos y maquinas instaladas

a) Generadores.

Los generadores que alimentan cargas no lineales generalmente sufren desfases angulares entre los campos magnéticos debido a las perdidas suplementarias creadas por las corrientes armónicas. Este desfase es del orden del 10 % para un alternador que alimenta un 30 % de cargas no lineales, lo que hace necesario su sobredimensionamiento.

b) Transformadores

Los transformadores se diseñan normalmente para entregar una potencia nominal a cargas mayormente lineales conectadas a él, para señales sinusoidales de voltajes balanceados y corrientes que no excedan de 0.5 % THDv, en una magnitud tal que no exceda el limite de elevación de temperatura, estableciéndose estos parámetros en la respectiva placa de datos.

Asimismo, el tiempo de vida útil del transformador esta en función de la degradación de su sistema de aislamiento el cual depende principalmente de factores como: la temperatura

excesiva, la presencia de oxígeno, la humedad y los esfuerzos eléctricos originados por la excitación del núcleo como de los cortocircuitos.

Las corrientes armónicas que circulan en los transformadores provocan un incremento de las pérdidas en los devanados por efecto Joule y de las pérdidas en el hierro debido a la corriente de Foucault. Estos aumentos de pérdidas dan lugar a la vez a incrementos de temperatura.

Por tanto, la presencia de las corrientes armónicas al ocasionar un aumento de las pérdidas y con ello un incremento de la temperatura en los devanados y en el núcleo del transformador, hará que la capacidad nominal de éste se vea reducida.

Actualmente, con la finalidad de indicar la capacidad del transformador para soportar los efectos del calentamiento producido por la presencia de los armónicos generados, se ha establecido el método denominado factor K, que es un indicador que indica, a los usuarios que dicho transformador ha sido diseñado para operar a su capacidad nominal con corrientes que tengan niveles de distorsión de acuerdo a dicho factor, sin que se excedan los límites nominales de elevación de temperatura. Este factor K puede ser usado también para estimar el rendimiento máximo que puede tener un transformador con respecto a su potencia nominal ante la presencia de las cargas no lineales que van a producir incrementos de su temperatura de operación como consecuencia del incremento de las pérdidas en sus devanados y núcleos generados por la distorsión armónica presentes en la red.

Un factor $K=1$ es para una corriente sinusoidal pura.

La expresión matemática empleada para calcular el factor k es la siguiente:

$$\text{Factor } K = \frac{\sum_{h=1}^h [h^2 x(Ih)^2]}{\sum_{h=1}^h (Ih)^2} \quad (2.18)$$

Donde:

h : orden armónico

Ih : Contenido armónico individual

Con el factor K definido luego se podrá calcular la máxima corriente que el transformador podrá suministrar cuando la red presenta componentes armónicos.

$$I_{\text{máx.}} = \left[\frac{1.15}{(1+0.15K)} \right]^{1/2} \quad (2.19)$$

Adicionalmente, las pérdidas reales causadas por las corrientes armónicas pueden ser calculadas como el producto del factor K por las pérdidas parasitas del transformador a la frecuencia fundamental con la expresión siguiente:

$$P_{ec} = P_{ec_{fund}} \times \text{Factor K} \quad (2.20)$$

Donde:

P_{ec} : Pérdidas por corrientes de eddy reales

$P_{ec_{fund}}$: Pérdidas por corriente de eddy a frecuencia fundamental

En resumen los efectos nocivos de los armónicos en los transformadores son:

Reducción de la eficiencia del transformador tanto por el incremento de la corriente eficaz como de las corrientes parasitas.

Reducción de la capacidad de operación con relación a su capacidad nominal debido a los incrementos de temperatura en los devanados.

En la Figura 2.11 se muestra la Curva de variación % de la capacidad nominal de un transformador con relación al % Carga no lineal/carga total

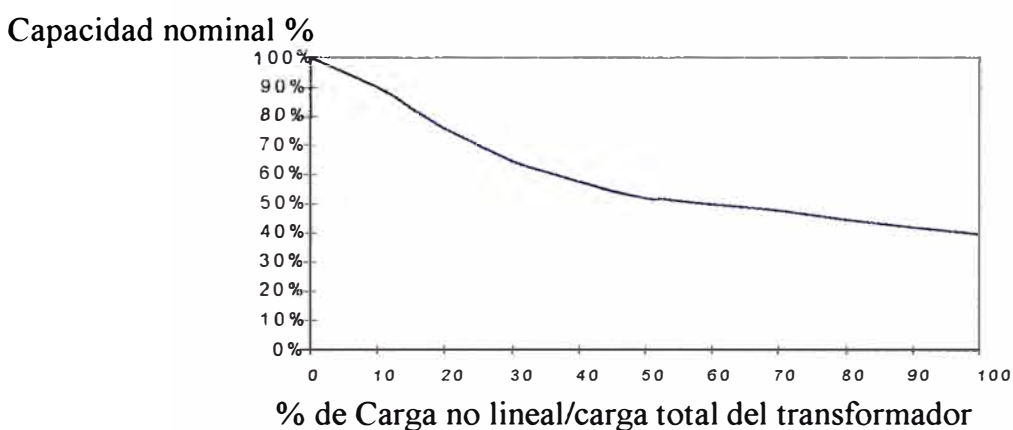


Fig. N° 2.11 Curva de Reducción de la capacidad del transformador con relación a la carga no lineal que alimenta

c) 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 la 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.

Dado que la Impedancia de los condensadores esta definido como $X_c = \frac{1}{2\pi f C}$, al aplicarse una señal con contenido armónico a los capacitores se producirá que su corriente se incremente ya que su impedancia tenderá a reducirse como consecuencia de las altas frecuencias de los armónicos. Hecho que dará como consecuencia, un incremento de la temperatura producto de las mayores pérdidas ocasionando con ello el colapso del dieléctrico y por tanto del capacitor.

d) Maquinas rotatorias

La mayoría de maquinas rotatorias de inducción al igual que los transformadores, son diseñados para operar con señales sinusoidales, siendo la corriente fundamental en fase con la tensión la que produce trabajo útil en la flecha en términos de par y velocidad.

Al alimentarse el motor con una señal de voltaje distorsionado, sus componentes armónicos generan incrementos de temperatura en los devanados como consecuencia del aumento de las pérdidas incrementando su resistencia y reduciendo su eficiencia.

Asimismo, la corriente fundamental produce un par que rota en el sentido de giro del motor a una velocidad definida por su frecuencia radial. Las señales de secuencia negativa producen pares en sentido inverso, cuyas velocidades dependen del orden armónico.

La interacción de los pares de diferentes velocidades y sentidos de giro, pueden producir pares pulsantes que causan vibración y esfuerzos en la parte mecánica lo que a su vez disminuirá su eficiencia, en resumen los efectos en los motores serán:

- Incremento de pérdidas por calor
- Reducción del par efectivo en la flecha
- Presencia de vibraciones
- Disminución de la vida útil

e) Efectos en conductores:

Al circular corriente a través de un conductor se produce su calentamiento como producto de las pérdidas por efecto Joule, que esta dada por la expresión I^2R , donde R es la resistencia a la corriente opuesta por el conductor y a la vez, la corriente es el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conductor. Pero como al aumentar la frecuencia de la corriente (manteniendo I_{rms} igual) que transporta el conductor, disminuye el área efectiva por donde esta circula puesto que, la densidad de corriente crece en la periferia exterior del conductor (efecto piel) lo cual implica una mayor resistencia efectiva del conductor. Por tanto cuando los conductores conducen corrientes armónicas, se producirá el incremento de las pérdidas como efecto del incremento de la resistencia debido a las mayores frecuencias [14].

Como consecuencia de la presencia de los armónicos se dará un aumento del valor eficaz de la corriente para una misma potencia activa consumida y con ello un incremento de las pérdidas por efecto Joule que se traducirá en mayor calor.

Finalmente se ocasionará un incremento de las pérdidas dieléctricas en el aislamiento con la frecuencia, si el cable es sometido a distorsiones de tensión no despreciables.

Existen estudios del incremento de la resistencia de los conductores (efecto piel) como efecto del incremento de la frecuencia los mismos que se muestran en la Tabla N° 2.4

TABLA N° 2.4 Efecto Piel en resistencia de conductores

Sección de conductor	Resistencia AC/DC de cables a frecuencia de armónicas		
	60 Hz.	300 Hz. (5°)	420 (7°)
1/0 AWG	1.00	1.09	1.17
2/0 AWG	1.01	1.15	1.26
3/0 AWG	1.01	1.22	1.38
4/0 AWG	1.02	1.33	1.53
250 MCM	1.02	1.41	1.64
350 MCM	1.05	1.67	1.97

f) Efectos en el conductor neutro

Teóricamente en un sistema trifásico alimentado con una señal sinusoidal, la tensión entre fases están desfasadas 120° de manera que, cuando la carga de las tres fases esta balanceada la corriente por el neutro es cero. Y cuando las cargas no están balanceadas la corriente neta resultante del desbalance es la que circulará por el neutro, por lo que es de uso común, que la sección del conductor neutro sea menor que la sección del de la fase y por lo general el equivalente al 50 % de la sección del conductor de fase Pero cuando las cargas no están balanceadas y son no lineales con la presencia de componentes armónicas la regla no se cumple, (como sucede en las redes de baja tensión que casi nunca se tiene cargas balanceadas pues atienden mayormente cargas monofásicas), pues si bien las componentes fundamentales pueden anularse, las componentes armónicas del 3 orden y las múltiplos de ella tienden a sumarse en el neutro y pueden llegar a superar las corrientes de fase.

En general, de acuerdo a los diversos estudios existentes, se puede afirmar que, todas las partes conformantes del sistema eléctrico sometidos a tensiones distorsionadas por la cual circulan corrientes armónicas, sufren el incremento de pérdidas y deberán ser objeto de una evaluación específica mas profunda que permita adoptar las medidas correctivas del caso a fin de neutralizar en lo posible, los efectos negativos generados por la presencia de estas componentes. Por tanto, debería considerarse seriamente la necesidad de la ejecución de las mediciones de la distorsión armónica existente en todos los sistemas eléctricos que estén sometidos a evaluaciones periódicas.

2.8 Normativa reguladora de la emisión de armónicas

a) Propósito de los estándares

El propósito de los estándares relacionados con la limitación de las armónicas en los sistemas eléctricos de potencia se puede resumir en la necesidad de: [13]

- Controlar la distorsión de tensión y corriente a niveles que los equipos conectados al sistema puedan tolerar.
- Garantizar a los clientes una tensión con una forma adecuada a sus necesidades.
- Limitar el nivel de distorsión que un cliente puede introducir a la red.
- Asegurar que las armónicas no interfieran con otros sistemas.

Por ello existe normatividad por parte de organismos internacionales y nacionales que tienden a asegurar la integridad de los sistemas eléctricos, estableciendo para ello límites sobre los niveles de distorsión permisible de aplicación obligatoria tanto para los usuarios como para los suministradores de energía.

b) Variables limitadas por los estándares

Los estándares establecen límites para las siguientes variables o parámetros siguientes:

- Armónicos individuales de tensión (valor efectivo ó RMS)
- Armónicos individuales de corriente (valor efectivo ó RMS)
- Distorsión armónica total de tensión o corriente.

2.9 Revisión de algunos estándares

Con el propósito de limitar la presencia de las componentes armónicas en los sistemas eléctricos de potencia existen estándares de los diversos países pero casi todos consideran límites para la distorsión armónica total de tensión y la mayoría de ellos limita las armónicas individuales de tensión, en el presente informe se presenta los dos estándares más importantes y el estándar de la NTCSE que es el que rige para nuestro país.

2.9.1 Normas IEEE 519-1992

La IEEE en su Norma IEEE 519-1992 "Prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia" busca limitar la inyección de armónicos de los clientes individuales de manera que no produzcan distorsiones inaceptables de voltajes en las características normales del sistema, así como limitar la distorsión armónica total del voltaje proporcionado por el proveedor. Estableciendo los límites de distorsión de voltaje y corriente que deben usarse como valores de diseño de los sistemas eléctricos para el peor de los casos en condiciones de operación normal que duran más de 1 hora [13]

Este estándar divide la responsabilidad de limitar las armónicas entre los usuarios finales y las empresas de distribución. Los usuarios serán los responsables de limitar las inyecciones de corrientes armónicas, mientras que los proveedores serán principalmente responsables de limitar la distorsión de voltaje en la red de distribución.

Los límites de distorsión de corriente y voltaje para este estándar deberán ser analizados en el Punto de acoplamiento común (PCC), que es el punto donde otros clientes comparten la misma red o donde pueden conectarse nuevos clientes en el futuro. La norma busca un acercamiento justo de asignación de cuota de límite de armónicos para cada cliente, asigna límites de la inyección de corriente basados en el tamaño de la carga con respecto al tamaño del sistema de potencia, el mismo que está definido por su capacidad de cortocircuito. La relación de cortocircuito está definida a su vez como la proporción de la corriente de cortocircuito máximo en el PCC para la máxima demanda de corriente de carga (componente de frecuencia fundamental) en el PCC que es el punto donde se alimentan los usuarios que puede ser en baja, media o alta tensión.

a) Límites de corriente armónicas según las Normas IEEE 519-1992

Según este estándar, las corrientes armónicas para cada usuario son evaluadas en la acometida y los límites se establecen en función de la relación entre la corriente de cortocircuito y la demanda máxima de corriente fundamental de la carga del usuario. Las normas IEEE con la finalidad de mantener dentro de niveles aceptables la distorsión armónica de corriente, ha establecido los límites para este tipo de distorsión que se muestran en la Tabla N° 2.5.

TABLA N 2.5 Límites de las corrientes armónicas para sistemas de distribución

ARMONICAS INDIVIDUALES IMPARES						
I_{cc} / I_L	TDD	$H < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$
< 20	5.0 %	4.0 %	2.0 %	1.5 %	0.6 %	0.3 %
20-50	8.0 %	7.0 %	3.5 %	2.5 %	1.0 %	0.5 %
50-100	12.0 %	10.0 %	4.5 %	4.0 %	1.5 %	0.7 %
100-1000	15.0 %	12.0 %	5.5 %	5.0 %	2.0 %	1.0 %
>1000	20.0 %	15.0 %	7.0 %	6.0 %	2.5 %	1.4 %

Para las armónicas pares, los límites son el 25 % del límite del armónico impar superior. Todos los equipos de generación de energía están limitados a estos valores de corriente, sin importar la relación I_{cc}/I_L .

No se permite la existencia de componentes de corriente directa, que corresponden a las armónicas cero.

Para la aplicación de la tabla deberá tenerse en cuenta que:

I_{cc} : Máxima corriente de cortocircuito en la acometida

I_L : Es el promedio de la demanda máxima de corriente fundamental en la acometida de los 12 últimos meses.

La distorsión de demanda total TDD está definida como:

$$TDDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 \% \quad (2.21)$$

Donde:

I_h : Magnitud de la armónica individual

I_L : Demanda máxima de corriente fundamental (Promedio de 12 meses)

h : orden de armónico impar

b) Límites de distorsión de voltaje de la IEEE 519-1992

La IEEE también ha establecido límites de distorsión de voltaje para diferentes niveles de tensión que el suministrador es responsable de mantener para asegurar la calidad del voltaje en el sistema global.

En estos límites es importante notar que la distorsión armónica total THD que se utiliza es diferente de la convencional pues los valores han sido fijados expresando la distorsión en función del voltaje nominal, que es un valor constante para cada usuario, lo cual permite establecer una base fija de evaluación a lo largo del tiempo, los mismos que se presentan en la Tabla N° 2.6 siguiente:

TABLA N 2.6 Límites de Distorsión Armónica en Voltaje en % voltaje nominal.

Nivel de tensión en la Acometida (V_n)	Distorsión armónica individual	Distorsión armónica total THD V_n
$V_n < 69 \text{ kV}$.	3.0%	5.0%
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$	1.5%	2.5%
$V_n > 161 \text{ kV}$	1.0%	1.5%

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_n} \times 100 \% \quad (2.22)$$

Donde:

V_h : Magnitud de la componente armónica individual

h : Orden armónico

V_n : Voltaje nominal fundamental del sistema

2.9.2 Normas IEC para armónicas.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) ha definido una categoría de normas de compatibilidad electromagnética (EMC) que trata de los problemas de la calidad de la energía eléctrica. [11]

El término de “compatibilidad electromagnética” incluye las preocupaciones tanto para las interferencias radiadas como para las conducidas en equipos terminales.

Las normas IEC están divididas en 6 partes, de las cuales las partes relacionadas con las armónicas recaen en las partes 2 y 3 como son:

Parte 2: Ambiente. Estas normas definen las características del ambiente en donde funcionará el equipo, la clasificación de tal ambiente y sus niveles de compatibilidad y se designan con el código IEC 61000-2-x.

Parte 3: Límites. Estas normas definen los niveles permisibles de emisiones que pueden ser generados por el equipo conectado en el ambiente, estableciendo límites numéricos de emisión como de inmunidad y se designan con el código IEC 61000-3-x

a) Límites de distorsión de voltaje según la norma IEC 61000-2-2

La norma IEC 61000-2-2 define niveles de compatibilidad para perturbaciones conducidas de baja frecuencia y señalización en redes de suministro eléctrico de Baja Tensión como sistemas monofásicos y trifásicos a 50 o 60 Hz. con voltajes nominales de hasta 240 y 415 V. respectivamente. Estos niveles no son rígidos y puede excederse en algunas condiciones excepcionales. Los niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en redes de Baja Tensión que son determinados en porcentaje del voltaje fundamental, son mostrados en la Tabla N° 2.7.

TABLA N 2.7 Niveles de compatibilidad para voltajes armónicos individuales en la red de Baja Tensión según IEC61000-2-2

o múltiplos de 3		Múltiplos de 3		Pares	
Orden impar h	Voltaje armónico (%)	Orden impar h	Voltaje armónico (%)	Orden par H	Voltaje armónico (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6	0.5
13	3	21	0.2	8	0.5
17	2	>21	0.2	10	0.2
19	1.5			12	0.2
23	1.5			>12	0.2
25	1.5				
>25	$0.2+1.3*25/h$				

Se considera que en el THD de la tensión de alimentación las componentes armónicas mayores a 40 μ n son menores al 8%

b) Límites de distorsión en corriente según las normas IEC 61000-3-2

Las normas IEC 61000-3-2 y la IEC 61000-3-4 son estándares que fijan límites de emisiones de corrientes armónicas para los equipos a conectarse a la red de baja tensión, para ello la norma clasifica a los equipos en 4 categorías como son: Equipos trifásicos balanceados, herramientas portátiles, Equipos de iluminación y equipos con entrada de corriente con forma de onda especial y potencia menor a 600 W.

Los límites establecidos en estos estándares son para que se satisfaga los límites de compatibilidad de la norma IEC 6100-2-2

La norma IEC 61000-3-2 establece los límites de corrientes armónicas que los equipos de baja potencia pueden inyectar en el sistema y son los que se muestran en la Tabla N° 2.8

TABLA N° 2.8 Límites de corrientes armónicas para equipos de clase A

Orden Impar h	Máximo valor de corriente permitido (A)	Orden par h	Máximo valor de corriente permitido (A)
3	2.3	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.3
9	0.40	8 - 40	0.23*8/h
11	0.33		
13	0.21		
15 - 39	0.15*15/h		

Adicionalmente se fijan límites de emisión de corrientes armónicas para herramientas portátiles (Clase B), Equipos de iluminación incluyendo dispositivos de atenuación (Clase C) y equipos con entrada de corriente con forma de onda especial y consumo de potencia activa menor a 600 W. (Clase D).

2.9.3 Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos (NTCSE)

En el caso del Perú, El Ministerio de Energía y Minas aprobó mediante Decreto Supremo D. S. N°020-97-EM aprobó las Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, mediante el cual fija los límites de Distorsión de armónicas de voltaje, por niveles de tensión y son determinadas como un porcentaje de los voltajes nominales.

Según esta norma los valores eficaces (RMS) de las Tensiones Armónicas Individuales (V_i) y las distorsiones armónicas totales de tensión THD_v, expresado como porcentaje de la tensión nominal del PCC, no deben superar los límites indicados en la Tabla N° 2.9

Definiéndose para tal efecto al Factor de Distorsión Total de Armónicas (THD_v) como:

$$\text{THD}_{V_n} = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=40} \frac{V_h^2}{V_n^2}} \times 100\% \quad (2.17)$$

Donde:

V_h = Es el valor eficaz (RMS) en voltios de la tensión armónica “h” (para $h = 2, \dots, 40$)

V_n = Es la tensión nominal del punto de medición expresada en voltios.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si los indicadores de las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al 5 % del periodo de medición.

TABLA N 2.9 Limites de la distorsión armónica de tensión establecida en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos:

ORDEN (n) DE LA ARMONICA ó THD	TOLERANCIAS (Vi) o (THD) (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
Armónicas Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
Mayores de 25	0.1+2.5/n	0.2+12.5/n
Impares múltiplos de 3		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8

CAPITULO III

MEDICION DE LAS ARMONICAS Y DISTORSIONES ARMONICAS

3.1 Importancia de la medición de las armónicas

La detección y cuantificación de la presencia de las componentes armónicas en las redes eléctricas radica en el hecho de que, en las últimas décadas los suministradores y usuarios se han visto en la necesidad de mejorar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica, la misma que ha sido conseguida mediante la incorporación masiva de elementos de electrónica de potencia a los diferentes equipos para controlar y transformar la energía eléctrica. Sin embargo, estos equipos se caracterizan porque para su funcionamiento requieren de las redes, corrientes no sinusoidales que van a originar las distorsiones en las tensiones y corrientes presentes en éstas. Las mismas que necesitan ser detectadas y medidas para que se adopten las acciones correctivas ya sea del lado del suministrador como del cliente dependiendo de quien es el causante de los mismos.

Por otro lado, es mediante la ejecución de programas de medición de los parámetros representativos que se puede efectuar la identificación y cuantificación de las armónicas existentes.

3.2 Objetivos de la medición de las armónicas

Los objetivos de la medición de las armónicas dependerán de los objetivos del estudio a realizarse, siendo los más usuales:

- Evaluar el grado de contaminación armónico existente en la red
- Evaluar el impacto que tendrá sobre el sistema la introducción de una nueva carga
- Resolver problemas de interferencias auditivas.
- Investigar problemas de fallas continuas si causa aparente en el sistema
- Determinar el impacto y la ubicación de los condensadores o filtros para la compensación de potencia reactiva en sistemas contaminados.
- Diseño de filtros de potencia para el control y atenuación de armónicos etc.
- Determinación de las responsabilidades en la generación de las distorsiones de la red.

3.3 Casos en que debería hacerse la medición de las armónicas

Los estudios de medición de armónicas tienen un costo que demanda un monto de inversión, motivo por el cual éstos deben hacerse en casos justificados como son:

- En redes débiles, con potencia de cortocircuito baja que tienen cargas no lineales que inyectan corrientes armónicas.
- Cuando la potencia de las cargas contaminantes es importante con respecto a la potencia instalada de la planta.
- Cuando se den indicios operacionales de fallas de partes del sistema eléctrico sin causas aparentes justificadas, como son las fallas en los condensadores, cables, filtros.
- Cuando un cliente sospeche que la concesionaria le esta inyectando armónicas o viceversa.

En todos estos casos es necesario tener presente que por lo general no es fácil, justificar económicamente la realización de un estudio de detección y medición de armónicas cuando un sistema eléctrico esta en funcionamiento. Esto debido a que el sistema esta funcionando, con algunos problemas pero funciona y por ello muchas veces no se le da la debida importancia.

3.4 Procedimientos para la medición de las armónicas

La detección y medición de las armónicas es recomendable hacerlo siguiendo una metodología adecuada debido a los costos de los equipos involucrados y a que cualquier error en las medidas pueden agravar aún mas el problema en lugar de solucionarlo.

Por ello en esta parte del informe, se presenta los criterios establecidos por la NTCSE y estándares internacionales de los procedimientos para la medición así como los requisitos que deben cumplir los equipos a ser usado en las mediciones a realizar.

3.5 Normas y estándares para la medición de las armónicas

La detección de las componentes armónicas presentes en los sistemas e instalaciones eléctricas por lo general se realizan, mediante la ejecución de mediciones siguiendo determinadas técnicas de ensayo y medida que están definidas en las Normas Internacionales como la IEC que en su norma IEC 61000-4-7 de Técnicas de Ensayo y Medida proporciona el estándar o Guía General relativa a las medidas de armónicos e interarmónicos. Así como para los equipos de medida, aplicables a las redes de alimentación y a los aparatos conectados.

En el caso peruano al igual que en otros países, la Base Metodológica para la Aplicación de la “Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos” establece los principios conceptuales y procedimientos a seguir para la aplicación de la norma que comprende:

- La estructuración de la Base de Datos que permita una efectiva aplicación y control de la NTCSE
- La transferencia de información al organismo supervisor,
- Las campañas de medición y registro
- La aprobación de las especificaciones técnicas del equipamiento a utilizar para el control de calidad.

De estos procedimientos, en los dos primeros se especifica la obligación que tienen las empresas suministradoras de entregar al OSINERGMIN la información de las bases de datos que contenga la información del esquema de alimentación a cada uno de sus clientes según las normas y formatos establecidos, el sistema con el cual se efectuará la transferencia de información, así como los programas, modelos matemáticos, procedimientos de calculo etc. que se requieran para verificar el calculo de los indicadores y compensaciones que entregan a requerimiento de OSINERGMIN.

En el procedimiento de la Implementación de la Campaña de Medición se fija los criterios a usar para la ejecución de las mediciones requeridas, el registro, procesamiento de la información y la determinación de las compensaciones relacionadas con la calidad del producto como la del suministro.

Finalmente establece los requisitos mínimos que debe cumplir el equipamiento utilizado para el control de calidad del producto.

3.6 Requisitos mínimos del equipo para la medición de las armónicas

Los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos registradores para medir los parámetros de calidad del producto según la NTCSE son los siguientes:

- Los equipos registradores deberán ser de fácil traslado y permitir el almacenamiento de la información en memoria por un lapso no menor a dos periodos de medición, sin descargas intermedias.
- Los equipos registradores y su instalación deberá adecuarse a las normas referidas a la seguridad eléctrica, tanto los que sean ubicados dentro de la propiedad de los usuarios, como a la intemperie. Asimismo deberán contar con un sistema que asegure la inviolabilidad de los datos y archivos de registros de medición y deberán estar identificados con su número de serie.
- Los registradores deberán disponer de interface óptica, serial o paralela para computadora, que permita mediante software obtener los archivos de medición del propio equipo y posterior exportación a formato ASCII.

- Deberán permitir una medición constante y con seguimiento de la tensión a través de una constante de tiempo de muestreo apropiada para el registro de cada parámetro.
- Los valores representativos de los intervalos de medición podrán ser obtenidos por post procesamiento, mediante software externo.
- Cuando sea necesario, el empleo de transformadores o transductores de tensión o corriente, estos deberán tener características acordes con el registrador, a fin de que la precisión de la medición energía/potencia del equipo incluyendo transformadores y/o pinzas, sea por lo menos correspondiente a la clase de precisión del sistema de medición empleado para la facturación comercial.
- Los diferentes modelos de equipos de medición y registro, deberán contar con certificación de los siguientes ensayos tipo realizados por reconocidos laboratorios de prestigio y según normas IEC 61000-4-7:
 - Ensayos de aislamiento.
 - Ensayo de compatibilidad electromagnética
 - Ensayos climáticos
 - Ensayos mecánicos
 - Ensayo de clase de precisión
- Los ensayos climáticos tipos, deben comprobar que el equipo de medición y registro puede funcionar bajo las siguientes condiciones ambientales:
 - Rango de temperatura de operación : 0° C a +55° para la costa y la selva
-20°C a +45 para la sierra
 - Rango de Humedad de operación : 45 a 98 %
 - Rango de presión barométrica : 0.76 a 1.08 Bar, para la costa y selva
0.45 a 0.76 Bar, para la sierra
- Previo al uso de los equipos registradores, se realizaran sobre cada uno de ellos los ensayos de contraste y funcionamiento, los cuales deberán repetirse periódicamente.

3.7 Punto de medición de las distorsiones armónicas PCC

Los límites fijados en las diversas normas para los armónicos son para ser aplicados en las acometidas, Es decir el punto de medición para efectos de medir las distorsiones armónicas esta fijado por las normas, en el punto donde el suministrador entrega la energía al usuario y a partir de ahí pueda alimentar a otros usuarios.

Este mismo criterio puede ser usado por los usuarios para evaluar otros puntos dentro de sus instalaciones considerando otros límites de distorsión puesto que, aun si estos fueran

mayores, la interacción de las diversas cargas dentro de la instalación puede producir amortiguación de las armónicas que arrojen valores de la distorsión total que estén dentro de los valores límites establecidos para la acometida, Figura 5.1 puntos de medición para los usuarios.

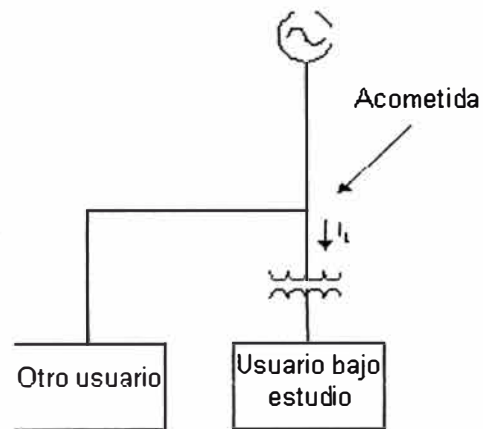


Fig. 5.1 Esquema de ubicación de los Puntos de medición de la distorsión

CAPITULO IV MEDIOS DE MITIGACION DE LAS ARMONICAS

4.1 Mitigación de armónicas

Cuando se tiene que resolver el problema de la presencia de las armónicas en los sistemas eléctricos aparecen muchos problemas de distorsión y pérdida de eficiencia que hace aconsejable, no aventurarse en dar una solución pues existen varias alternativas técnicas que se han venido desarrollando con la finalidad de mitigar o reducir los efectos nocivos que éstos presentan y todas incluyen el uso de filtros, que pueden ser de tipo pasivo, o filtros de tipo activo, o una combinación de ambos a los cuales se les conoce como filtros tipo híbridos.

Cada uno de estos tipos de filtros poseen además características particulares que influyen considerablemente en su aplicación, por lo que no hay una solución que de por si sola pueda considerarse la mejor, Por ello se hace necesario hacer un estudio completo de cada caso a tratar debiéndose para tal efecto hacer un modelo del sistema a analizar que considere: la agrupación de cargas, identificación del tipo de consumos etc. Que permita hacer una evaluación preliminar contando para ello con el apoyo de programas computacionales que permitan simular el comportamiento del sistema ante las diversas alternativas de solución según el caso a tratarse.

Debiéndose contar para la aplicación de estos programas con datos adicionales como:

- Impedancias de los transformadores y de las líneas
- Conexiones de los transformadores
- Capacidad de los condensadores y situaciones de trabajo
- Espectros de armónicos
- Voltajes de alimentación
- Datos de las tasas de distorsiones a corregir etc.

4.2 Soluciones generales básicas para reducir la distorsión armónica:

Para limitar la propagación de las armónicas, se deben adoptar una serie de medidas, que dependerán de la oportunidad en que se efectuó los análisis correspondientes.

Así se tiene que las medidas a adoptarse cuando se diseña una nueva instalación serán muy diferentes a cuando el sistema esta en funcionamiento. Entre las medidas que permitirán evitar la propagación de los armónicos se tienen:

4.2.1 Implementación de las cargas perturbadoras al inicio de la red

Como la perturbación armónica global aumenta a medida que la potencia de cortocircuito disminuye.

Se considera preferible conectar las cargas perturbadoras aguas arriba del resto de cargas como se muestra en la Figura 4.1 siguiente:

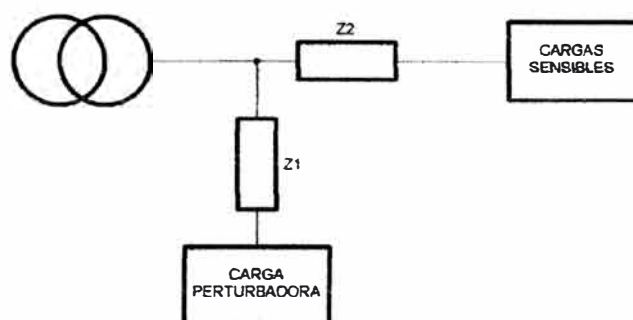


Fig. 4.1 Conexión aguas arriba de las cargas no lineales

4.2.2 Agrupación de las cargas no lineales

Se deberá buscar en lo posible agrupar en grupos aparte las cargas lineales y las no lineales de manera que tengan una alimentación desde circuitos diferentes.

El reagrupamiento de cargas no lineales, aumenta las probabilidades de que algunas armónicas se neutralicen. Adicionalmente se debe buscar en lo posible que la corriente de las cargas lineales tenga el menor recorrido por los cables para limitar las caídas de tensión y el incremento de temperatura en los cables, Fig. 4.2

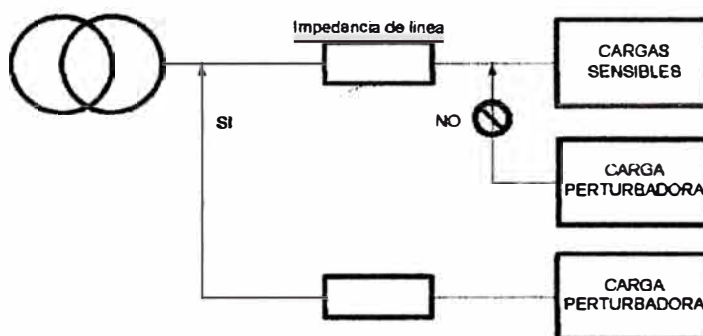


Fig. 4.2 Reagrupación de cargas no lineales

4.2.3 Uso de transformadores con conexiones especiales

El uso de transformadores con determinado tipo de conexión favorece también la reducción de determinadas órdenes de armónicos así se tiene que:

Una conexión delta – estrella elimina los armónicos de orden 3 pues estos circulan por cada fase y regresan al transformador por el neutro.

Una conexión delta zigzag elimina los armónicos de orden 5.

4.3 Uso de filtros pasivos

Los filtros son equipos cuyo propósito es interactuar con una frecuencia específica o rango de frecuencias de una señal dada y tienen una mejor performance cuando se instalan cercanas a las cargas no lineales. Estos filtros pueden ser utilizados ya sea reduciendo la circulación de la perturbación que genera la carga no lineal en dirección de la fuente, o reduciendo la circulación de la perturbación desde la fuente hacia la carga en el caso de que ésta ya posea problemas con la calidad de su energía.

Además este equipo puede proveer a la red eléctrica parte o toda la potencia reactiva que requiera para mejorar el factor de potencia.

Estos filtros se caracterizan por estar compuestos por elementos pasivos pudiendo tener diferentes combinaciones de tipo inductivo y capacitivo que dependerá de cada caso, así como poseer más de una rama en la que cada rama es sintonizada para suprimir la distorsión que ocasiona un solo armónico.

Como se tratan de elementos inductivos y capacitivos que pertenecen a un sistema eléctrico que va trabajar con señales alternas estos presentan una impedancia particular al paso de la corriente en función de su frecuencia, esta impedancia que también es conocida como reactancia. Fig. 4.3

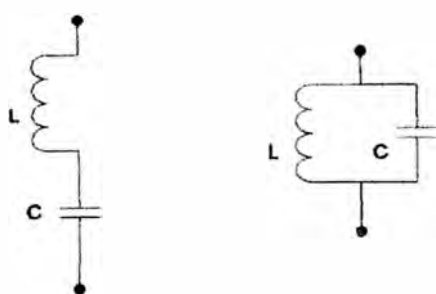


Fig. 4.3 Posibles combinaciones de elementos pasivos que forman un filtro pasivo. Dependiendo del tipo de distorsión armónica que se presenta en la red eléctrica, ya sea de si se trata de suprimir los armónicos de corriente que son generados por las cargas no lineales antes de que estos lleguen a la fuente o si se trata de que la señal distorsionada de tensión de la fuente no afecte la carga conectada a la red, los filtros pasivos pueden ser:

- Filtros serie o
- Filtros shunt o paralelo.

4.3.1 Filtros pasivos de potencia serie.

Se les denomina serie, porque son instalados en serie con la carga no lineal, estos filtros están constituidos por un elemento inductivo y capacitivo ambos conectados en paralelo como se muestra en la Figura 4.4 siguiente:

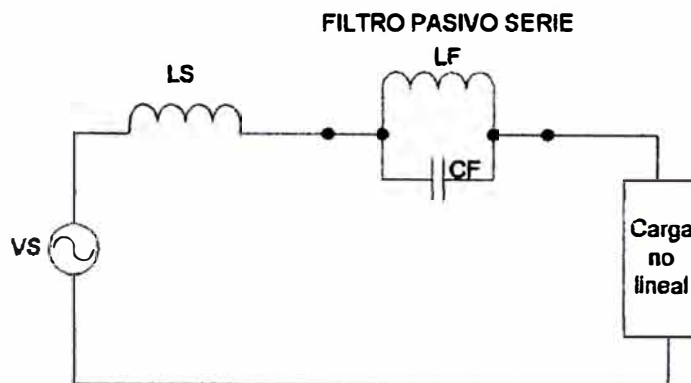


Fig. 4.4 Esquema de filtro pasivo de potencia serie

En el esquema de la figura 6.4 la impedancia Z_F en los terminales de filtro estará dada por la ecuación 4.1

$$Z_F = \frac{X_{LF} \cdot X_{CF}}{X_{LF} + X_{CF}} \quad (4.1)$$

En la fórmula anterior si el denominador se iguala a 0 (cero) el filtro presentará en sus terminales un valor de impedancia infinita, de esta forma se puede calcular el filtro para que se comporte como un circuito abierto para la señal que tenga la frecuencia que iguale al denominador a cero evitando así el paso de la perturbación con esa frecuencia.

$$X_{LF} + X_{CF} = 0 \quad (4.2)$$

De la ecuación 4.2 se puede a la vez determinar la frecuencia que hará resonar al filtro, para el caso del circuito LC paralelo, el mismo que resonara presentando una impedancia infinita en sus terminales, ecuación 4.3

$$\omega_n = 2\pi f_n = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \quad (4.3)$$

Este es el principio bajo el cual el filtro serie evita el paso de las componentes de la señal a cuya frecuencia el filtro está sintonizado, este tipo de filtro por lo general son utilizados para disminuir la circulación de las distorsiones armónicas provenientes de la fuente hacia la carga y viceversa, la desventaja que presenta es que a través de él circulará la corriente total de la carga, generando con ello mayores caídas de tensión que perjudicaran a la carga al incrementarse la caída de tensión.

4.3.2 Filtro pasivo de potencia shunt o paralelo

A este tipo de filtro se le denomina shunt o paralelo debido a que su implementación en el circuito es en paralelo con la carga no lineal tal como se muestra en la Figura 4.5

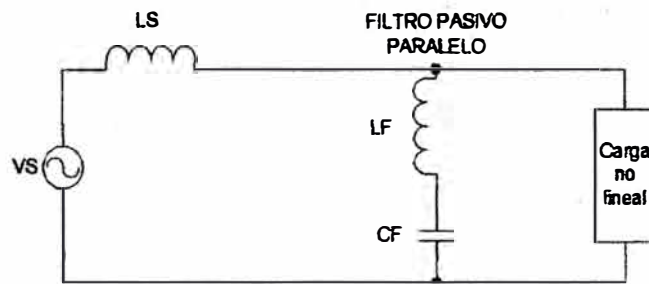


Fig. 4.5 Conexión de un filtro pasivo de potencia en paralelo

La estructura de un filtro shunt paralelo consta de un elemento inductivo y otro capacitivo ambos conectados en serie. El mismo que presentará una impedancia Z_f entre sus terminales que esta dada por la ecuación 4.4

$$Z_F = X_{LF} + X_{CF} \quad (4.4)$$

Como el objetivo del filtro paralelo es proporcionar una vía de descarga a tierra para las señales armónicas la impedancia total del filtro debe ser igual a cero, entonces se deberá cumplir que:

$$X_{LF} = X_{CF} \quad (4.5)$$

Luego como en el caso del filtro serie, se puede determinar la frecuencia para la cual el circuito LC serie resonará presentando una impedancia mínima en sus terminales igual a:

$$\omega_n = 2\pi f_n = \frac{1}{\sqrt{L \times C}} \quad (4.6)$$

En este caso para disminuir la perturbación de varias componentes armónicas se deberán utilizar varias ramas y cada una de ellas se debe sintonizar a la frecuencia de cada una de las componentes armónicas para que cada rama presente una vía de impedancia mínima para que se descargue a tierra, evitando con ello que las perturbaciones que son las armónicos de corrientes viajen de la carga hacia la fuente.

4.3.3 Ventajas de los filtro pasivos de potencia.

La ventaja de los filtros pasivos es que sus costos no son tan elevados y su tecnología es más conocida y desarrollada, adicionalmente el filtro puede ser usado para efectuar la compensación reactiva fundamental que se requiera hacer en el sistema con un costo adicional relativamente menor.

4.3.4 Desventajas del filtro pasivo de potencia.

El filtro pasivo no se adapta al circuito, si la carga no lineal cambiara su comportamiento lo que ocasionará ineficiencia en la supresión de las componentes armónicas.

El comportamiento del filtro pasivo es afectado por la impedancia de la fuente, la misma que cambia al variar la topología de la red, esto ocasionará cambios en la resonancia del filtro llegando en algunos casos a que el filtro sintonice a 60 Hz.

4.4 Uso de filtros activos

Los filtros activos de potencia son equipos compuestos por un generador de señales eléctricas conocido como inversor, con un sistema de control electrónico que indica al inversor que forma de onda debe generar, de manera tal que genere las corrientes armónicas requeridas por las cargas no lineales de forma tal que la fuente de alimentación normal sólo debe suministrar la corriente fundamental.

Estos filtros son los más recomendados para ser usados para contrarrestar una situación de mayor contaminación de las redes eléctricas, pues son más eficientes que los filtros pasivos.

El propósito de los filtros de potencia activos es el de reducir las distorsiones producidas por los armónicos de manera que la corriente que circule por la red al igual que la tensión aplicada a la carga sea sinusoidal mejorándose así la eficiencia del sistema aguas arriba del punto de conexión del filtro.

Estos filtros al igual que los filtros pasivos se pueden clasificar en filtros activos serie y filtros activos paralelo

4.4.1 Filtros activos de potencia serie

Estos filtros al ser fuente generadora de señales eléctricas, van a compensar a la red o fuente alimentadora los componentes armónicos que lo distorsionan con la finalidad de que éstas entreguen a la carga un voltaje únicamente con la componente fundamental.

Este filtro también posee la característica de bloquear el paso hacia la fuente de las corrientes armónicas que se generan en la carga, Figura 4.6.

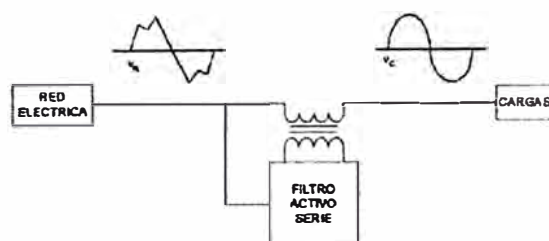


Fig. 4.6 Representación gráfica de la acción de un filtro activo serie

4.4.2 Filtros activos de potencia paralelo

Son filtros utilizados en paralelo con cargas no lineales, poseen una etapa de control que toma una referencia de la intensidad distorsionada generada por la carga no lineal, la

misma que es analizada internamente para inmediatamente mediante un circuito de potencia generar las corrientes de compensación para corregir la distorsión evitando con ello que las corrientes distorsionantes circulen por el resto del sistema eléctrico, Figura 4.7

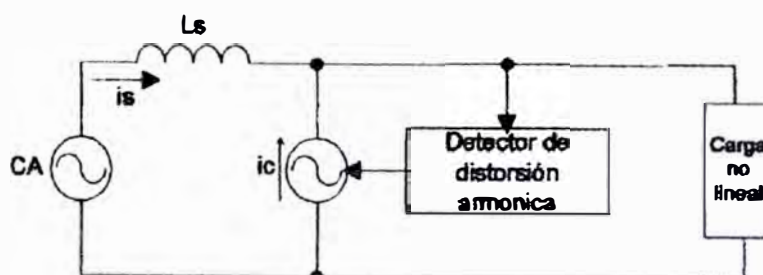


Fig. 4.7 Configuración eléctrica de un filtro activo de potencia paralelo

Este filtro al igual que el filtro pasivo paralelo evita que las corrientes armónicas circulen por el resto del sistema eléctrico al generar las corrientes armónicas que demanda la carga no lineal de forma tal que solo la componente fundamental sea tomada de la red o fuente de suministro.

4.4.3 Ventajas de los filtros activos de potencia

Estos filtros a diferencia de los filtros de potencia pasivos, al estar compuesto por una fuente de corriente controlada pueden suministrar corrientes, de cualquier amplitud, fase y frecuencia, es más adaptable a las condiciones cambiantes de la carga y de la propia red eléctrica sin producir resonancia con el filtro.

El filtro activo conectado en paralelo con la fuente inyecta corrientes que se ajustan a las componentes armónicas desarrolladas por las cargas no lineales.

4.4.4 Desventajas de los filtros activos de potencia

Estos filtros son de mayor tamaño y son relativamente más costosos que los filtros pasivos

4.5 Uso de filtros híbridos

Los filtros híbridos son la combinación de un filtro pasivo y un activo, combinación que permite reducir el tamaño y costo de los filtros con parte activa manteniendo las ventajas frente a los filtros pasivos.

4.5.1 Filtros híbridos serie

Esta configuración está compuesta por lo general por un filtro activo conectado en serie con la impedancia de la fuente y el filtro pasivo en paralelo con la carga, en este caso el filtro activo es una fuente de tensión controlada que genera un voltaje distorsionado.

Este tipo de filtros permite eliminar los armónicos de corriente provenientes de la fuente debido a que la parte activa del filtro híbrido compensa el voltaje distorsionado de la fuente a manera de una suma de voltajes de fuentes, disminuyendo la circulación de corrientes

armónicas que nacen en la fuente y tratan de llegar a la carga. Por tanto la distorsión armónica de tensión en los terminales de la carga se deberá a los armónicos de corriente que se generan en la carga pero que no provienen de la fuente o sea aísla la carga.

Por otro lado los armónicos de corriente que se producen en la carga producen distorsiones de voltaje proporcional a la impedancia del filtro pasivo en paralelo el mismo que al estar sintonizado a la frecuencia de los armónicos de corriente que se produce en la carga disminuirá la distorsión de voltaje, Figura 4.8

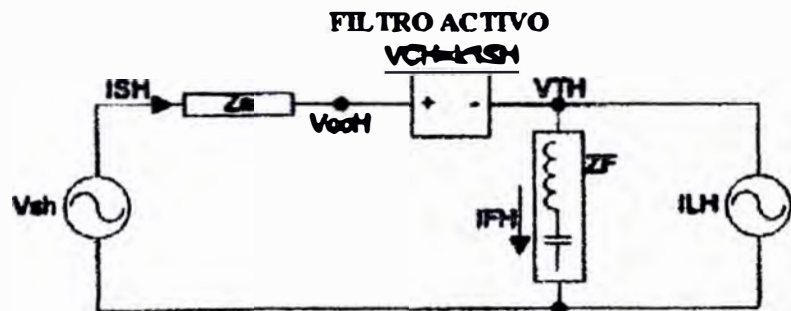


Fig. 4.8 Esquema de conexión de Filtro Híbrido de potencia serie para carga tipo fuente corriente

En el circuito anterior el valor de la corriente armónica n de la fuente estará dado por la Ecuación 4.8 aplicando el principio de superposición:

$$I_{SHn} = \frac{V_{SHn}}{Z_{Sn}} + I_{LHn} \quad (4.7)$$

En la ecuación anterior Z_{Fn} y Z_{Sn} son las impedancias del filtro pasivo y de la fuente a la frecuencia de la armónica “ n ”.

En la ecuación anterior, cuando K tiende a ∞ , se eliminan la corriente armónica I_{SHn} de la fuente ello se puede interpretar como que el filtro activo ha generado las corrientes compensatorias que neutralizan al I_{SHn} que nace de la fuente y va hacia la carga.

Por lo que la tensión armónica que se genera en la carga será la que es producida por la corriente armónica en el filtro pasivo e igual a:

$$V_{THn} = I_{LHn} \times Z_{Fn} \quad (4.8)$$

Tensión que puede ser eliminada por el filtro pasivo al hacer $Z_{Fn} = 0$

4.5.2 Filtros híbridos paralelo

Estos filtros por lo general están conformados por ramas de filtros pasivos sintonizados a las frecuencias de cada una de las corrientes de distorsión armónica que produce la carga no lineal en serie con un filtro activo que apoya con la compensación de corriente para que no se distorsione la corriente de la fuente. En estos filtros cualquier falla de una de las ramas del filtro pasivo tratará de ser compensado por el filtro activo hasta los niveles para

el cual fue diseñado, hecho que da una muestra clara de que un filtro híbrido es una de las mejores opciones a ser usadas.

En la Figura 4.9 se presenta el esquema de conexión eléctrica de un filtro híbrido de potencia en paralelo para una carga no lineal tipo fuente de corriente

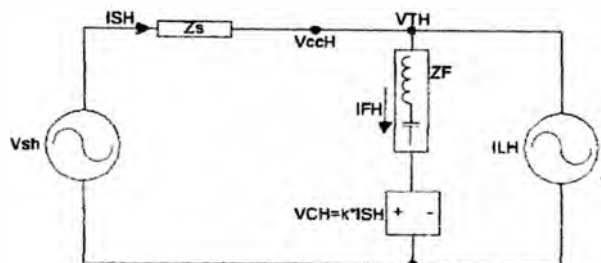


Fig. 4.9 Circuito con una carga tipo fuente corriente armónica de corriente y un filtro híbrido de potencia paralelo

4.5.3 Ventajas de los filtros híbridos

Los filtros híbridos al ser una combinación de filtro pasivo con el activo permiten una importante disminución en su costo y tamaño

Los filtros híbridos en paralelo tienen entre sus aplicaciones:

- La reducción de los armónicos de corriente en la carga.
- Compensación del factor de potencia
- Reducción de la corriente por el neutro

4.6 Efectos asociados a la reducción de las armónicas

En los sistemas eléctricos donde el contenido armónico de las señales afecta su desempeño, se hace necesaria la instalación de filtros con el objetivo de reducir las distorsiones con la finalidad de aproximar dichas señales a la forma sinusoidal.

La reducción de las armónicas en los sistemas eléctricos tendrá efectos asociados que se manifestaran de diferentes formas, teniéndose entre las más importantes a las siguientes:

- Elevación del factor de potencia
- Reducción del consumo de energía reactiva en las redes,
- Reducción de las pérdidas por efecto Joule en los sistemas eléctricos
- Reducción del sobrecalentamiento de los conductores
- Reducción de las pérdidas en transformadores y motores

CAPITULO V

CASO PRÁCTICO DE DETECCION DE LAS COMPONENTES ARMONICAS

5.1 Detección de las componentes armónicas en un sistema eléctrico privado.

Como parte del presente Informe, se realizó la detección de la presencia de las componentes armónicas en un sistema eléctrico privado mediante la ejecución de mediciones en el sistema, utilizando para ello un equipo analizador de redes portátil.

La detección se hacia necesaria ante la ocurrencia de frecuentes fallas sin causa aparente en el sistema eléctrico del centro comercial, que afectaba principalmente a los bancos de condensadores usados para la compensación de la potencia reactiva, así como a los interruptores y contactores, razón por lo cual, se considero necesaria la ejecución de la medición de los parámetros de calidad de energía del sistema eléctrico con la finalidad de tener información precisa sobre la presencia de las componentes armónicas en la red teniendo en cuenta los tipos de carga del sistema, la misma que se caracteriza por el uso intensivo de lámparas fluorescentes, focos ahorradores en la iluminación y uso equipos de ventilación y refrigeración de baja potencia.

5.2 Datos referenciales del estudio del sistema eléctrico

a) Ubicación:

San Juan de Miraflores. Lima

b) Periodo de ejecución de mediciones:

11 al 18 de Marzo del 2010

c) Objetivo:

Objetivos Generales:

- Obtener un diagnostico de la situación actual del sistema eléctrico.
- Plantear mejoras en el sistema eléctrico que permitan solucionar problemas de calidad de energía existente en él.

Objetivos Específicos:

- Determinar los niveles de distorsión armónica existente en el sistema eléctrico del centro comercial que podrían estar causando las fallas en el sistema eléctrico.

- Dimensionar equipos que permitan mejorar la calidad de energía en el sistema eléctrico así como el ahorro de energía en el mismo

d) Alcances:

- El estudio contempla el análisis de la calidad de energía en el sistema eléctrico a partir de mediciones efectuadas en los tableros de distribución asociado a cada sub estación a un nivel de tensión de 230 Voltios.
- Para la realización del estudio se toma en cuenta los registros obtenidos por los analizadores de redes.
- El estudio contempla el análisis de los parámetros eléctricos y la contaminación armónica

e) Mediciones efectuadas:

Medición de parámetros eléctricos:

- Tensión
- Corriente
- Potencia

Mediciones de calidad de energía:

- THD_V Tasa de distorsión armónica de tensión
- THD_I Tasa de distorsión armónica de corriente
- Distorsiones individuales de tensión y corriente

5.2.1 Datos técnicos del sistema eléctrico:

a) Tensión de suministro: 10 kV. Trifásico 3 conductores.

b) Potencia de las Sub estaciones:

S. E N° 1: 800 kVA, 10/23 kV, 60 Hz, ucc. = 6.45 %

S. E N° 2: 500 kVA, 10/23 kV, 60 Hz, ucc.= 4.90 %

c) Potencia máxima contratada a la concesionaria

Demanda contratada: 850 kW.

d) Pliego tarifario contratado:

MT-3

e) Compensación reactiva existente:

La compensación reactiva se efectúa en baja tensión usando bancos de condensadores conectados a cada subestación, los mismos que presentan las características siguientes:

- S. E. N° 1: Esta equipado con un banco de condensadores de 11 pasos que aportan un total de 280 kVAr, 230 V. instalado en el año 1998.

- S. E. N° 2: Esta equipado con un banco de condensadores de 10 pasos con un total de 240 kVAr, 230 V.

f) Fallas mas frecuentes:

S. E. N° 1, el banco de condensadores presenta fallas en los contactores de los pasos y destrucción de algunos condensadores.

S. E. N° 2, el banco ha sufrido la destrucción de algunos condensadores y apertura de los fusibles de protección de algunos pasos.

g) Fijación de los puntos de medición.

Para efectos de la realización de las mediciones se fijaron los puntos PCC1 y PCC2 las barras de baja tensión de cada una de las subestaciones.

En la figura N° 5.1 se presenta el Diagrama unifilar del sistema eléctrico del centro comercial donde se efectuaron las mediciones con la ubicación de los puntos de medición elegidos.

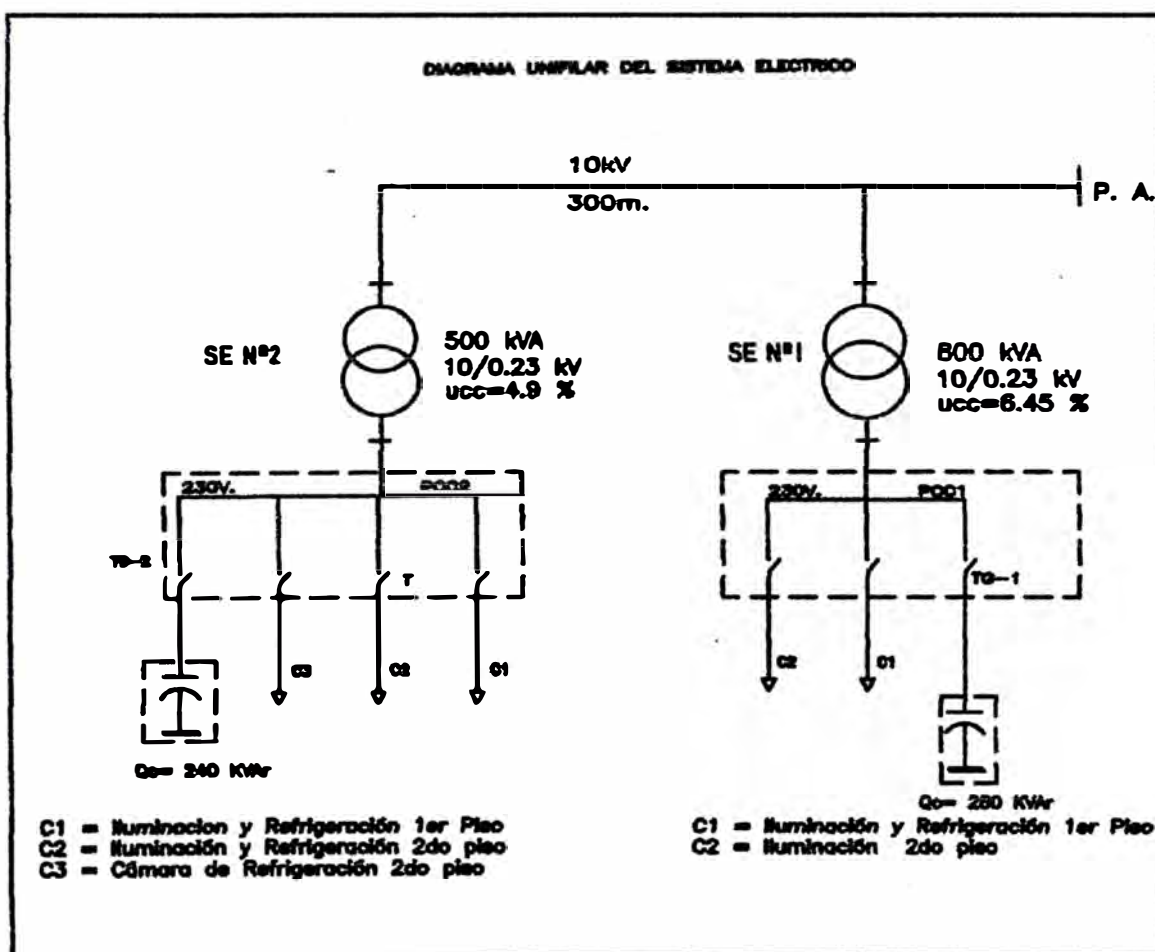


Fig. N° 5.1 Esquema unifilar del sistema eléctrico del centro comercial

f) Tipos de carga predominantes en el sistema eléctrico

Las carga predominantes en el centro comercial esta constituida especialmente por:

- Iluminación que representa aproximadamente el 40 % de la carga del sistema se caracteriza por el uso masivo de tubos fluorescentes, focos ahorradores y otros tipos de lámparas para iluminación de escaparates.
- Equipos de refrigeración y conservación de carnes representa el 50 % de la carga.
- Artefactos eléctricos diversos como licuadoras, extractoras, televisores y otros representan el 10 % de la carga total.

5.2.2 Normas técnicas e instrumentos utilizados

a) Normas técnicas utilizadas como referencia.

Las mediciones, evaluación de los resultados y conclusiones se realizaron teniendo como referencia la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) [1]. Y solamente donde la NTCSE no hace ninguna indicación, entonces, se utiliza como referencia a las normas IEEE 519-1992 “Recomendaciones practicas y requerimiento para el control de armónicos en los sistemas eléctricos de potencia” y la IEEE Standard 1159-2009 “Recomendaciones practicas para el monitoreo de la calidad de la energía eléctrica.”

b) Instrumento de medición utilizado:

Para efectuar la medición de los parámetros de calidad de energía y especialmente la de la presencia de las componentes armónicas en el sistema eléctrico compuesto por las subestaciones 1 y 2 se usaron sendos analizadores de redes:

- 1 analizador de red eléctrica marca CIRCUTOR modelo AR5-L
- 1 software de armónicos

El software de armónicos analiza los parámetros eléctricos: tensión, corriente, potencia, energía, tasa de distorsión armónica, etc.

Las mediciones se realizaron en registros con muestreos a intervalos de 10 minutos, conforme a la Tabla N° 5.1 siguiente:

TABLA N° 5.1 Registro de Archivos por SS. EE

Descripción	Sistema de distribución y tensión nominal	Días	Registro de Archivos
Subestación 1. Lado de baja tensión	Sistema trifásico de 3 hilos, 230 V, 60 Hz	11/03/2010 al 15/03/2010	MCDDIOS1-1.STD
		15/03/2010 al 18/03/2010	MCDDIOS1-2.STD
Subestación 2. Lado de baja tensión	Sistema trifásico de 3 hilos, 230 V, 60 Hz	11/03/2010 al 15/03/2010	MCDDIOS2-1.STD
		15/03/2010 al 18/03/2010	MCDDIOS2-2.STD

5.3 Resultados obtenidos de las mediciones de las componentes armónicas

Para efectos del informe se presenta un resumen de las mediciones efectuadas, de los componentes armónicos que generan la distorsión de las ondas de tensión y corriente en el sistema eléctrico del centro comercial y permite explicar en parte la ocurrencia de “fallas sin causa aparente” que venía ocurriendo especialmente en los dispositivos de protección y bancos de condensadores de compensación de la potencia reactiva, información que permite tener mejores elementos de juicio para analizar las causas de las fallas en el sistema eléctrico y plantear las medidas correctivas que permitan mejorar la calidad de la energía existente en el sistema eléctrico disminuyendo los niveles de distorsión hallados y a la vez proteger los equipos utilizados para la compensación de energía reactiva de dicho sistema, que presenta continuas fallas en los contactores y los condensadores, evitando a la vez la propagación de la distorsión armónica a las redes de la suministradora.

Producto de las mediciones efectuadas, se obtuvieron también diversos gráficos indicativos que permiten obtener una visión gráfica de la presencia de los componentes armónicos en el sistema y su variación en el tiempo.

5.3.1 Resultados de las mediciones de las componentes armónicas de tensión

a) Tasa de distorsión armónica total de tensión THD_v

Los resultados obtenidos para la distorsión armónica total de tensión THD_v, medidos para las SS. EE. N° 1 y 2 se muestran en las Tabla N° 5.2 y la Tabla N° 5.3 siguientes:

TABLA N°5.2 Tasa de distorsión armónica de tensión THD_v. S. E. 1

THD _v máxima		
L1	L2	L3
6,1 %	5.7 %	6,0 %

TABLA N° 5.3 Tasa de distorsión armónica de tensión THD_v. SE-2.

THD _v máxima		
L1	L2	L3
4.8 %	5,1 %	5,1 %

La NTCSE establece que, la tasa de distorsión armónica de tensión THD_v de baja tensión no debe superar el 8 %, en este caso las tasas de distorsión medidos en las 2 subestaciones están dentro del límite de tolerancia establecido por la Norma. Sin embargo las tasas de distorsión de tensión de 6.1% y 5.1% halladas indican la presencia de las componentes armónicas de tensión que están contribuyendo a generar el mal funcionamiento de algunos componentes conformantes del sistema eléctrico lo que hace necesario adoptar las medidas

necesarias que permitan mitigar sus efectos y disminuir los niveles de distorsión medidos a fin de mejorar la calidad de la energía existente en el sistema.

b) Medición de las componentes armónicas de tensión individuales V_h presentes.

En las Tablas N° 5.4 y la Tabla 5.5 se presentan los valores individuales de cada componente armónica de tensión medida, para cada subestación, comparado con los límites establecidos por la norma NTCSE.

- De los resultados de la Tabla N° 5.4 perteneciente a la S. E. N° 1 se puede observar que las armónicas impares 5° y 7° son los mas importantes y la primera supera ligeramente el límite establecido por la norma

TABLA N° 5.4 Cuadro comparativo de Distorsiones de Tensión medidas en la SE-1 con el estándar NTCSE.

Fase	Fecha	Hora	Armónico	V_h % medido	V_h % según NTCSE	Cumple con la tolerancia
Armónicas Impares no Múltiplos de 3						
L1	14/03/2010	10:00:00	5	6,464	6.00	no
L2	12/03/2010	09:40:00	7	3,380	5.00	si
L3	14/03/2010	08:20:00	11	0,485	3,50	si
L1	12/03/2010	08:10:00	13	0,331	3.00	si
L1	16/03/2010	11:40:00	17	0,205	2.00	si
L2	12/03/2010	09:20:00	19	0,350	1,50	si
L1	15/03/2010	04:10:00	23	0,166	1,50	si
L3	11/03/2010	21:30:00	25	0,224	1,50	si
L2	11/03/2010	20:40:00	29	0,204	0,631	si
L1	14/03/2010	17:50:00	31	0,198	0,603	si
L1	18/03/2010	04:30:00	35	0,182	0,557	si
L2	12/03/2010	09:20:00	37	0,360	0,538	si
Armónicas Impares Múltiplos de 3						
L3	16/03/2010	14:00:00	3	1,046	5.00	si
L1	18/03/2010	09:10:00	9	0,321	1,50	si
L3	11/03/2010	23:50:00	15	0,226	0,30	si
L2	16/03/2010	09:30:00	21	0,283	0,20	no
L2	11/03/2010	21:10:00	27	0,185	0,20	si
L2	12/03/2010	01:00:00	33	0,194	0,20	si
L1	11/03/2010	18:30:00	39	0,192	0,20	si

- De los resultados de la Tabla N° 5.5 perteneciente a la S. E. N° 2, se observa que los componentes 5° y 7° siguen siendo los de mayor presencia aunque están dentro de los límites establecidos, pero existen las componentes 21°, 27° y 33° superan el esos límites con porcentajes menores al 50%.

TABLA N° 5.5 Cuadro comparativo de Distorsiones de Tensión medidas en la SE-2 con el estándar NTCSE.

Fase	Fecha	Hora	Armónico	V _h % medido	V _h % según NTCSE	Cumple con la tolerancia
Armónicas Impares no Múltiplos de 3						
L3	14/03/2010	11:20:00	5	5,402	6.00	si
L3	12/03/2010	08:50:00	7	2,991	5.00	si
L1	17/03/2010	12:30:00	11	1.132	3,50	si
L2	18/03/2010	16:00:00	13	0,821	3.00	si
L1	18/03/2010	16:10:00	17	0,582	2.00	si
L2	13/03/2010	12:00:00	19	0,751	1,50	si
L2	13/03/2010	09:40:00	23	0,807	1,50	si
L1	13/03/2010	10:30:00	25	0,855	1,50	si
L2	11/03/2010	19:30:00	29	0,627	0,631	si
L3	17/03/2010	06:40:00	31	0,521	0,603	si
L3	17/03/2010	04:40:00	35	0,495	0,557	si
L1	15/03/2010	13:20:00	37	0,521	0,538	si
Armónicas Impares Múltiplos de 3						
L3	16/03/2010	17:10:00	3	1,148	5.00	si
L2	17/03/2010	12:50:00	9	0,695	1,50	si
L3	18/03/2010	12:00:00	15	0,293	0,30	si
L1	16/03/2010	09:10:00	21	0,237	0,20	no
L1	15/03/2010	22:50:00	27	0,255	0,20	no
L2	18/03/2010	16:10:00	33	0,256	0,20	no
L2	12/03/2010	13:30:00	39	0,197	0,20	si

Los resultados obtenidos para las componentes armónicas de tensión muestran que las componentes armónicas 5°, 7°, 11° y 13° son las más importantes a considerar para efectos de la mitigación de su presencia en el sistema para evitar los efectos nocivos de estas componentes, en los bancos de condensadores usados para corregir el factor de potencia.

5.3.2 Resultados de las mediciones de las componentes armónicas de corriente

a) Resultado de la medición de la tasa de distorsión armónica de corriente THDi y Tasa de distorsión de demanda TDD

Como la norma NTCSE vigente en el país, no contempla límites para las componentes armónicas de corrientes, en este caso para efectos de comparar los valores obtenidos en la medición de la distorsión generada por las componentes armónicas de corriente, se usa como referente los límites establecido en la norma IEEE-519 (Tabla N° 2.4) para ellas.

Los valores de la distorsión armónica de corriente THDi, medidos son:

Los resultados obtenidos para la S.E, N° 1 fueron:

TABLA N°5.6 Tasa de distorsión armónica de corriente THDi. S. E. N° 1

THDi máxima		
L1	L2	L3
20,2 %	27.3 %	22.5 %

TABLA N° 5.7 Tasa de distorsión de la demanda TDD. SE-1.

DISTORSION DE LA DEMANDA TDD	
Isc/IL	TDD
20.98	9.54 % > 8 %

Los resultados obtenidos para la S.E, N° 2 fueron:

TABLA N°5.8 Tasa de distorsión armónica de corriente THDi. S. E. N° 2

THDi máxima		
L1	L2	L3
11.7 %	14.1 %	10.5 %

TABLA N° 5.9 Tasa de distorsión de la demanda TDD. S. E. N° 2

DISTORSION DE LA DEMANDA TDD	
Isc/IL	TDD
19.95	6.45 % > 5 %

La presencia de valores de la tasa de distorsión total de la demanda superiores a los límites establecidos confirma o ratifica la necesidad de la instalación de dispositivos de atenuación de las componentes armónicas de corriente halladas, a fin de evitar daños en el sistema.

b) Resultados de la medición de las componentes armónicas individuales de corriente I_h y su comparación con los límites establecidos por la IEEE-519

Para el caso de medición de las componentes armónicas de corriente al igual que en el de las tensiones, se presenta los valores medidos comparados los valores límites establecidos por la norma IEEE-519 indicados en la Tabla N° 2.5 del Capítulo 2, teniendo como dato adicional los valores calculados para la relación I_{sc}/I_L en cada subestación indicadas en las Tablas N° 5.7 y 5.9.

Los valores medidos de las corrientes armónicas de las subestación 1 y 2 comparados con los límites fijados en la norma IEEE 519 se presentan en las Tablas N° 5.10 y N° 5.11 .

- De los resultados de la Tabla N° 5.10 perteneciente a la S. E. N° 1 se puede observar que los armónicos de corriente 5°, 7°y 11° son los mas importantes y superan largamente los límites establecidos en la norma, los mismos que al ser los de mayor amplitud, son los que estarían causando las fallas en los bancos de condensadores.

TABLA N° 5.10 Cuadro comparativo de Distorsiones de Corriente medidas para la SE-1 con el estándar IEEE-519 con I_{sc}/I_L 20 < 50

Fase	Fecha	Hora	Armónico	$I_h\%$ medido	I_h % según IEEE 519	Cumple con la tolerancia
Armónicas Impares no Múltiplos de 3						
L2	14/03/2010	16:40:00	5	21,639	7.00	no
L2	18/03/2010	09:10:00	7	24,672	7.00	no
L2	14/03/2010	08:10:00	11	3,443	3,50	no
L2	15/03/2010	22:00:00	13	2,026	3.50	si
L2	17/03/2010	00:10:00	17	1,365	2.50	si
L2	11/03/2010	23:20:00	19	0,893	2,50	si
L1	15/03/2010	22:10:00	23	0,295	1,00	si
L1	11/03/2010	21:40:00	25	0,251	1,00	si
L2	17/03/2010	05:30:00	29	0,197	1.00	si
L3	12/03/2010	00:20:00	31	0,238	1.00	si
L2	13/03/2010	05:20:00	35	0,243	0,50	si
L1	15/03/2010	22:00:00	37	0,218	0,50	si
Armónicas Impares Múltiplos de 3						
L2	11/03/2010	19:50:00	3	3.740	7.00	si
L2	11/03/2010	09:50:00	9	1,966	7.00	si
L1	16/03/2010	23:00:00	15	0,486	3.50	si
L1	13/03/2010	22:10:00	21	0,287	2.50	si
L3	11/03/2010	18:30:00	27	0,266	1.00	si
L2	11/03/2010	21:50:00	33	0,252	1.00	si
L1	12/03/2010	06:30:00	39	0,281	0,50	si

- En la Tabla N° 5.11 se presenta los valores medidos de las componentes armónicas de corriente medidos para la S. E. N° 2, comparados con los límites establecidos en la norma IEEE 519 y en ella se observa nuevamente que las componentes armónicas: 5°, 7° y 11° superan los límites establecidos en la norma.

Los resultados de las mediciones de las componentes armónicas de corriente en ambas Sub estaciones, que presentan valores superiores a los límites fijados en la norma, refuerza la necesidad de la implementación de dispositivos de mitigación de estas componentes armónicas, habida cuenta que los condensadores de los bancos de compensación del factor de potencia son los que actualmente presentan fallas frecuentes al carecer de filtros de mitigación de estas armónicas en el sistema.

TABLA N° 5.11 Cuadro comparativo de Distorsiones de Corriente medidas para la SE-2 con el estándar IEEE 519 con $I_h/I_u < 20$

Fase	Fecha	Hora	Armónico	I_h % medido	I_h % según IEEE 519	Cumple con la tolerancia
Armónicas Impares no Múltiplos de 3						
L2	13/03/2010	23:10:00	5	14,863	4.00	no
L3	14/03/2010	06:20:00	7	11.236	4.00	no
L1	14/03/2010	23:40:00	11	2.449	2.00	no
L2	14/03/2010	22:30:00	13	1.055	2.00	si
L2	14/03/2010	03:10:00	17	0,496	1.50	si
L3	13/03/2010	00:00:00	19	0,409	1,50	si
L3	16/03/2010	02:20:00	23	0,231	0,60	si
L3	16/03/2010	02:20:00	25	0,174	0.60	si
L3	16/03/2010	02:20:00	29	0.199	0,60	si
L3	16/03/2010	02:20:00	31	0,217	0,60	si
L3	16/03/2010	02:20:00	35	0,224	0,30	si
L3	16/03/2010	02:20:00	37	0,186	0,30	si
Armónicas Impares Múltiplos de 3						
L2	12/03/2010	23:30:00	3	2.254	4.00	si
L2	14/03/2010	23:30:00	9	1.515	4.00	si
L1	16/03/2010	03:20:00	15	0,375	2.00	si
L3	16/03/2010	23:10:00	21	0,288	1.50	si
L3	16/03/2010	02:20:00	27	0,311	0,60	si
L1	18/03/2010	03:30:00	33	0,189	0,60	si
L3	14/03/2010	04:40:00	39	0,186	0,30	si

c) Corrientes de línea máximos medidos

En las mediciones efectuadas se obtuvieron los siguientes valores máximos de corriente para cada S. E. que se presentan en la Tabla N° 5.12

TABLA N° 5.12 Corrientes de línea máximos medidos

Valor máximo de corriente de línea medido A.			
S. E.	I_{L1}	I_{L2}	I_{L3}
N° 1	1,237 A.	1,142 A.	1,238 A.
N° 2	1,143 A	1,258 A.	926 A.

d) Gráficos obtenidos

En las mediciones realizadas, se han obtenido también los gráficos indicativos siguientes:

- Formas de onda de tensión y corriente en barras de B.T, de las 2 S. E. Figura N° 5.2.
- Espectro armónico de tensión y corriente de la S. E. N° 1 Figura N° 5.3
- Espectro armónico de tensión y corriente de la S. E. N° 2 Figura N° 5.4

Gráfico GA102

FORMA DE ONDA (MCDDIOS1-1.STD)

14/03/2010 10:40:00

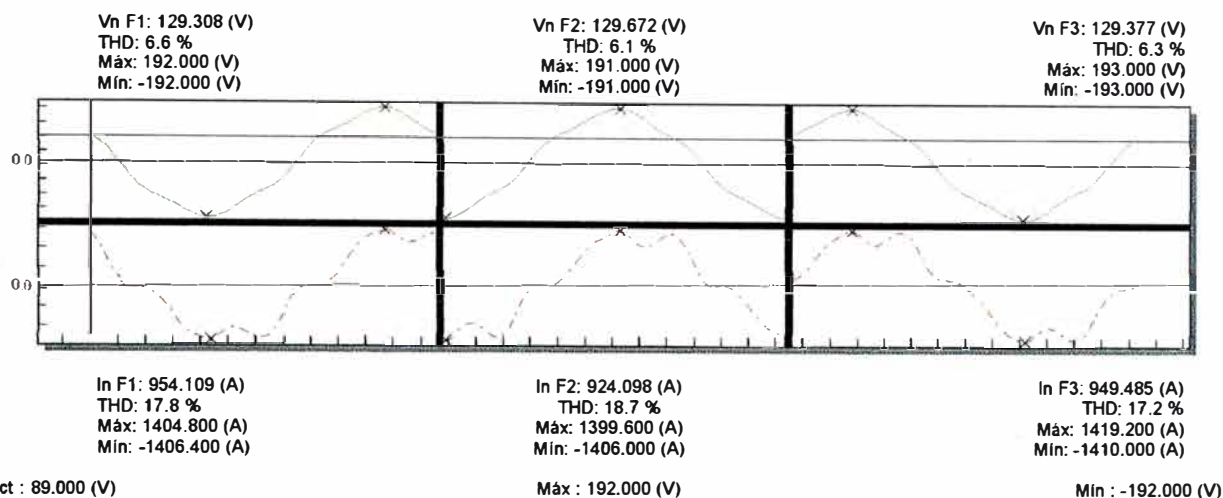


Gráfico GA103

FORMA DE ONDA (MCDDIOS1-1.STD)

13/03/2010 23:10:00

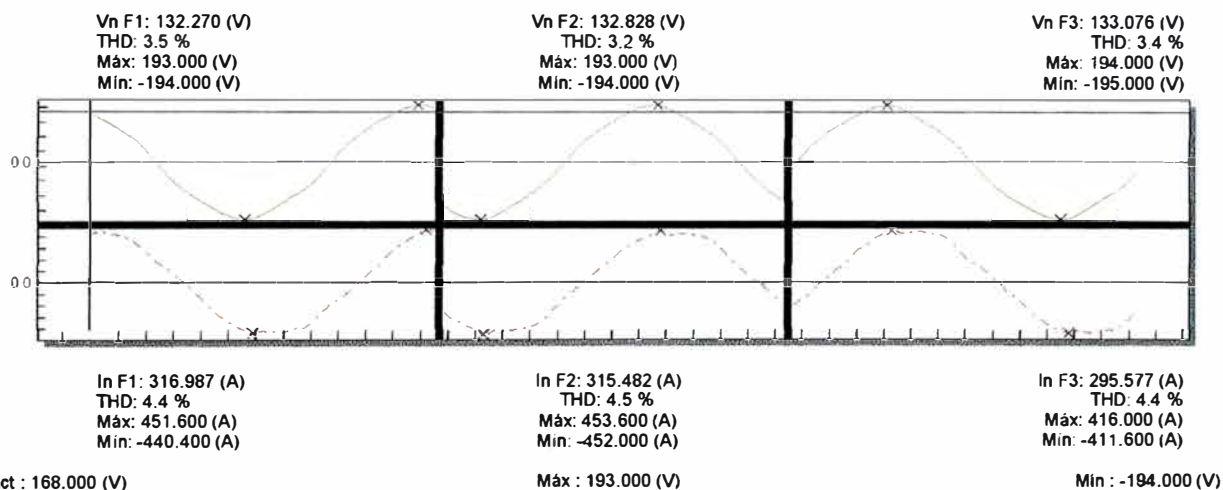


Gráfico GA101

FORMA DE ONDA (MCDDIOS1-1.STD)

12/03/2010 09:30:00

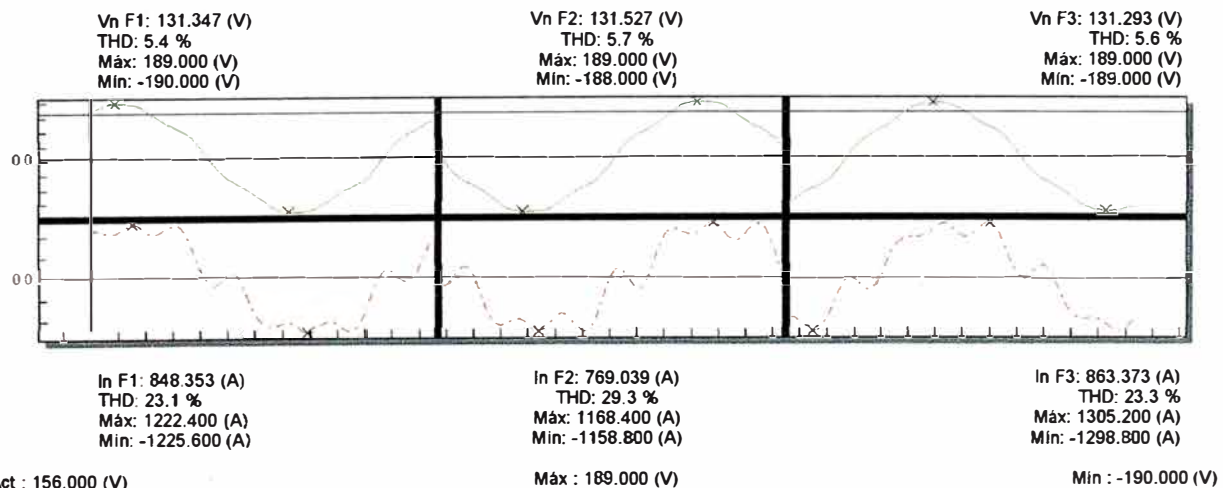


Fig. N° 5.2 Formas de onda de tensión y corriente en barras B.T. de SS. EE 1y2

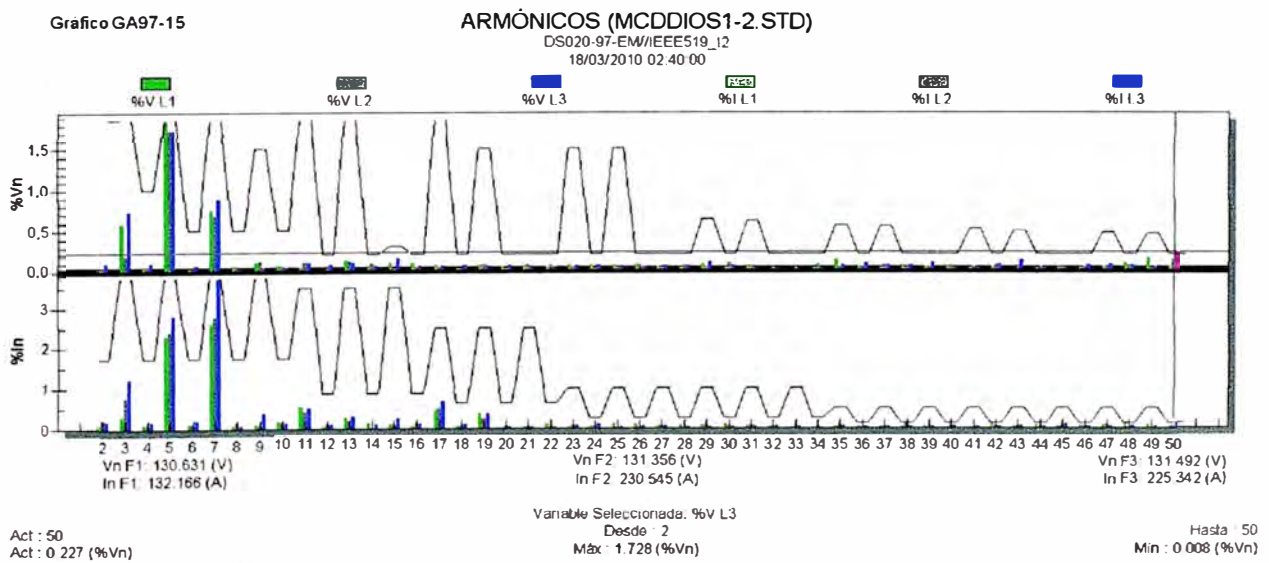
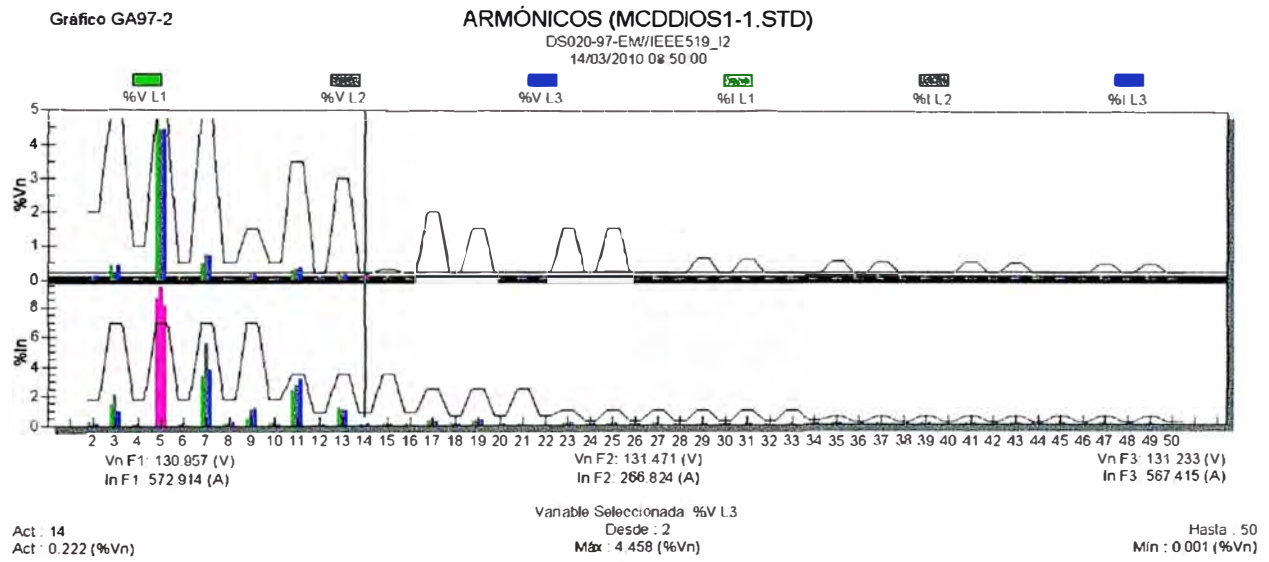
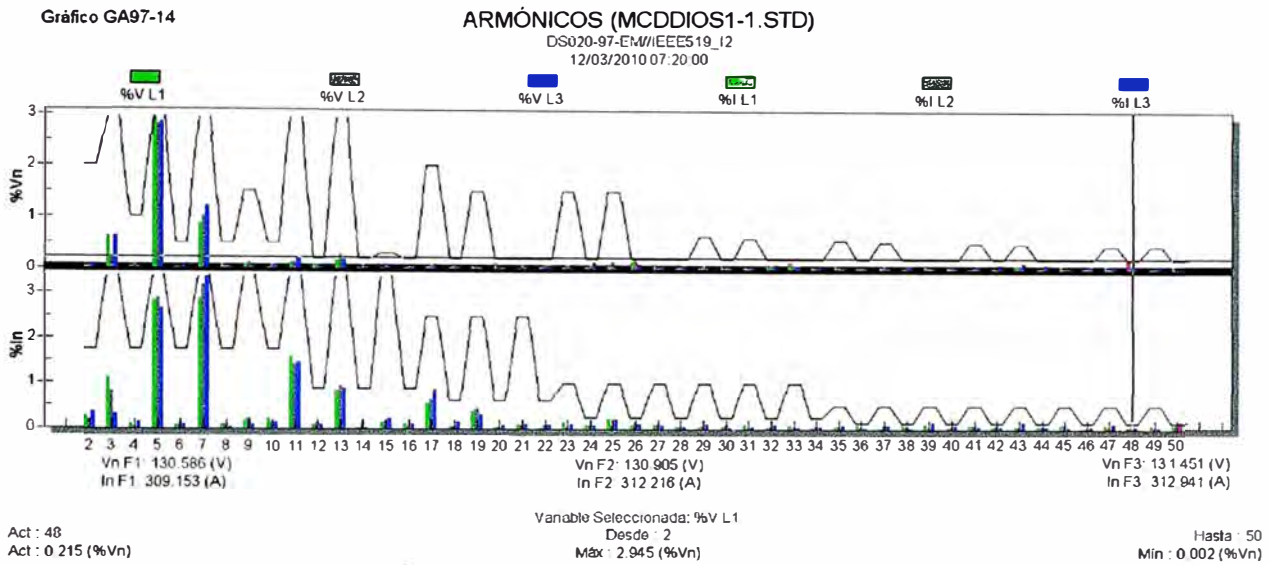


Fig. N° 5.3 Espectro Armónico de tensión y corriente en barras B.T. de S. E N° 1

Gráfico GA98-24

ARMÓNICOS (MCDDIOS2-1.STD)

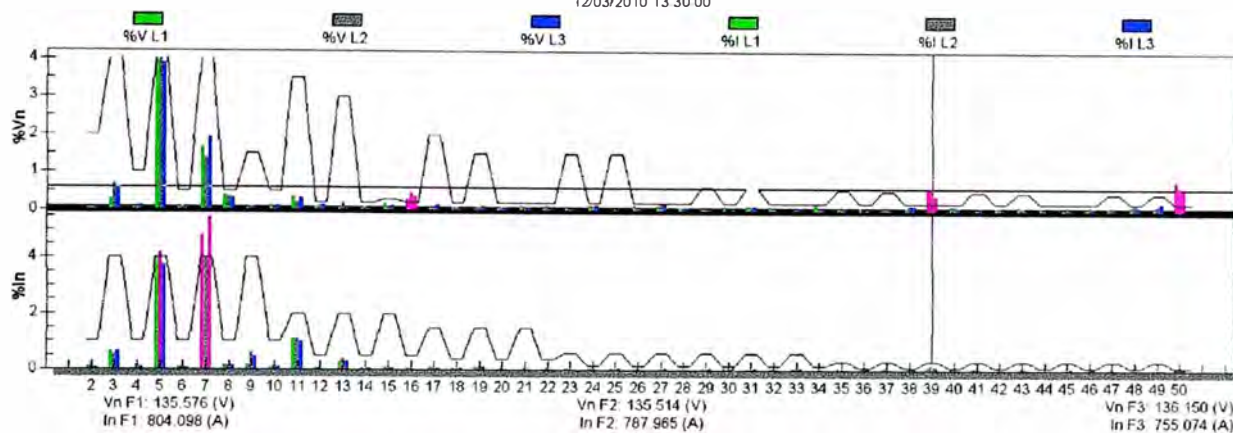
DS020-97-EM/IECC519_11
12/03/2010 13:30:00Act: 39
Act: 0.607 (%Vn)

Gráfico GA100-11

ARMÓNICOS (MCDDIOS2-2.STD)

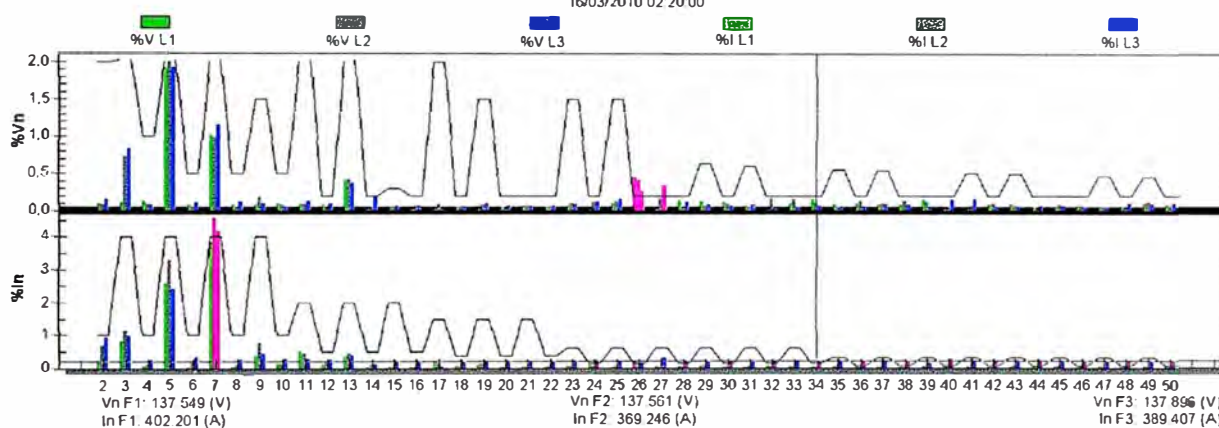
DS020-97-EM/IEEE519_11
16/03/2010 02:20:00Act: 34
Act: 0.210 (%In)

Gráfico GA98-6

ARMÓNICOS (MCDDIOS2-2.STD)

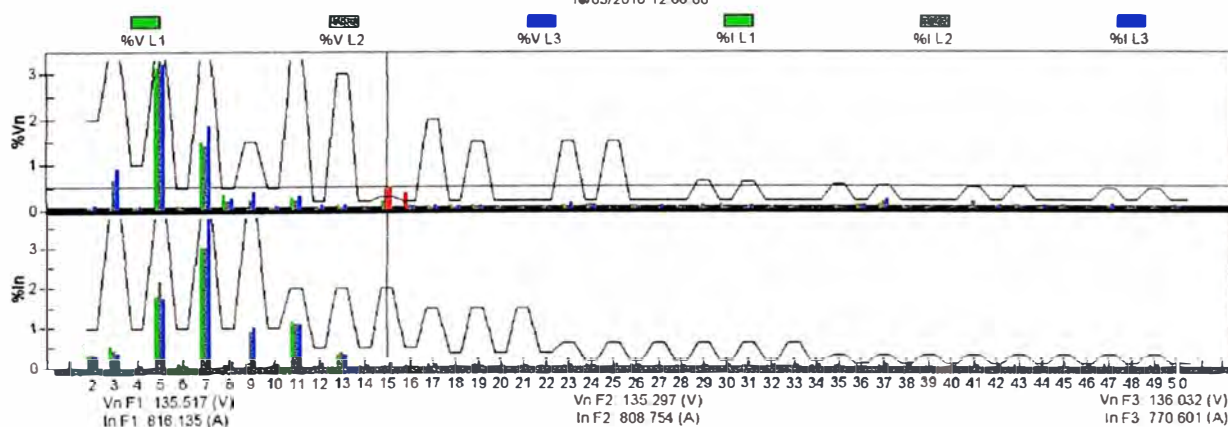
DS020-97-EM/IEEE519_11
18/03/2010 12:00:00Act: 15
Act: 0.523 (%Vn)

Fig. N° 5.4 Espectro Armónico de tensión y corriente en barras B.T. de S. E N° 2

5.4 Análisis de los resultados obtenidos.

El análisis de los resultados obtenidos nos permite sostener que:

- a. La presencia sostenida a lo largo de todo el periodo de medición, de distorsión de las ondas de tensión y corriente permite afirmar con certeza que la misma, es producto de la presencia de las componentes armónicas en las redes.
- b. Si bien las tasas de distorsión armónica de tensión THD_v en ambas sub estaciones están por debajo del límite establecido por la NTCSE, sin embargo los niveles medidos hacen necesario tomar medidas para la reducción de estas.
- c. Las altas tasas de distorsión armónicas de corriente medidas en ambas subestaciones que superan ampliamente los límites establecidos en la norma IEEE 519 indican la presencia importante de armónicos de corriente son los que estarían generando las fallas de los condensadores de los bancos de compensación del factor de potencia.
- d. La medición de las componentes armónicas individuales de corriente ha permitido determinar que las componentes 5° , 7° y 11° son las más importantes en el sistema eléctrico del centro comercial, hecho que corrobora la presencia de cargas no lineales en el sistema. Lo que hace necesaria la adopción de medidas destinadas a mitigar la presencia de éstas en el sistema con la finalidad de evitar los daños que dichas armónicas puedan generar en los diferentes componentes de sistema.
- e. Anteriormente la corrección de un bajo factor de potencia en sistemas con cargas predominantemente lineales se hacía añadiendo bancos de capacitancias puras, pero cuando las cargas no lineales tienen presencia significativa como es en el presente caso, añadir capacitancias “puras” pueden generar problemas ocasionadas por la presencia de las armónicas medidas ya que la impedancia de los capacitores disminuyen con la frecuencias armónicas que son múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz.), lo que hace que los condensadores se conviertan en las vías preferidas de las corrientes de alta frecuencia que les van a causar sobrecalentamientos y fallas prematuras que es necesario eliminar, implementando para ello el uso de filtros que son combinaciones de capacitores y reactores con un diseño específico que a la vez permitirán corregir el factor de potencia.

5.5 Recomendaciones ante la situación existente

Teniendo en cuenta los resultados de la medición efectuada en el sistema eléctrico del centro comercial que ha permitido determinar en forma fehaciente la presencia significativa de las componentes armónicas de corriente, que se reflejan en el 27.3 % y

14.5 % de THDi mediadas en la S. E. N° 1 y la 2 respectivamente, con la presencia notoria de las armónicas de orden 5°, 7° y 11° en ambas subestaciones.

De igual forma la presencia de distorsión armónica de tensión del orden de 6.1 % y 5.1% en la 1era y 2da subestación respectivamente, aunque en valores menores que los estipulados por la norma NTCSE (8 %), confirman la presencia de las componentes armónicas y ratifican la necesidad de implementar la instalación de filtros.

- Instalación de filtros de rechazo, filtros dinámicos o la combinación de ambos, con la finalidad de conseguir la mejora sustancial en la calidad de la energía eléctrica que se dispone, disminuyendo el contenido de armónicas de corriente en el sistema y evitar la emisión de la distorsión hacia el sistema del concesionario que los podría hacer pasibles de sanciones.
- Evaluar la instalación de inductancias anti resonantes en los actuales bancos de compensación reactiva de 240 y 280 kVAR compuestos por condensadores puros.
- Evaluar la capacidad del banco de compensación
- Hacer una revisión del sistema de puesta a tierra.
- Evaluación del desbalance de carga en todos los circuitos asociados al sistema.

5.5.1 Recomendaciones a aplicar para mitigar la distorsión armónica existente.

La solución a los problemas de la presencia de las componentes armónicas en el sistema, pasa por la adopción de un conjunto de medidas que tienen por finalidad reducir la Tasa de Distorsión Armónica de tensión y de corriente a los niveles establecidos por las normas, para lo cual se sugiere la adopción de medidas como:

Para ello es necesario implementar la instalación de filtros, los que tendrán como finalidad mitigar la presencia de estas componentes armónicas de corriente, a fin de evitar daños que vienen sufriendo los condensadores de los bancos utilizados en la corrección del factor de potencia de este sistema eléctrico. Todo ello teniendo en cuenta que, actualmente estos bancos están compuestos por condensadores puros sin ningún tipo de reactores o bobinas de bloqueo o rechazo de los armónicos, que los hace proclives a que, al exponerse el circuito a una armónica cercana a la frecuencia de resonancia, éste comenzará a oscilar con corrientes mas altas que las nominales, que por lo general ocasionará el disparo de interruptores automáticos, el fundido de fusibles y el deterioro de los capacitores como viene ocurriendo actualmente en el sistema eléctrico del centro comercial.

Para ello inicialmente se calcula teóricamente las posibles armónicas de resonancia que podrían afectar el sistema en función de los datos de los equipos existentes.

El cálculo de la armónica de resonancia de cualquier sistema eléctrico puede estimarse con las ecuaciones:

$$h = (\text{kVA}_{\text{SC}} / \text{k VAr})^{0.5} \quad (5.1)$$

$$\text{kVA}_{\text{SC}} = \text{k VA} / Z \quad (5.2)$$

Donde:

h = N° de Armónica

kVA_{SC} = Capacidad de corto circuito en kVA en la barra.

kVAr = Capacidad en kVAr del banco de capacitores

kVA = Capacidad en kVA del transformador

Z = Impedancia por unidad del transformador

Aplicando estas formulas para el cálculo de las armónicas de resonancia para el caso de los 2 transformadores del sistema eléctrico medido del centro comercial se tiene que:

Para la S. E. N° 1

$$h_1 = [\text{kVA} / (Z * \text{kVAr})]^{0.5} = [800 / (0.0645 * 280)]^{0.5} = 6.65$$

Para la S. E. N° 2

$$h_2 = [\text{kVA} / (Z * \text{kVAr})]^{0.5} = [500 / (0.049 * 240)]^{0.5} = 6.52$$

El resultado del calculo efectuado para las posibles armónicas de resonancia en cada una de las subestaciones, nos permite determinar que la séptima armónica sería la que cause los problemas en el sistema, por tanto se hace necesaria su eliminación o mitigación conjuntamente con la 5° y 11° armónicas.

La eliminación de estas armónicas se puede hacer mediante dos alternativas como son:

a. Instalación de reactores en serie con los condensadores

En esta alternativa contempla la posibilidad de instalar reactores en serie con los condensadores de los banco de compensación del factor de potencia existentes para formar los filtros con el que se reducirán las armónicas problemáticas, esta solución que permite cambiar la impedancia del sistema, es aplicable solo cuando se tiene la seguridad de que el banco de condensadores puede soportar un alto voltaje para servir como filtro armónico mediante la adición de los reactores y resistencias apropiadas con el que se reducirán las armónicas problemáticas. Esta alternativa de solución resulta muy engorrosa y poco segura por cuanto los capacitores existentes no son los adecuados para conformar filtros, razón por la cual no es recomendable esta alternativa.

b. El reemplazo de los actuales bancos compensadores por otros con filtros de rechazo

Esta alternativa contempla la opción del reemplazo de los actuales bancos de condensadores “puros” por otros bancos que a la vez actuarán como filtros de las armónicas anteriormente citadas, por estar diseñadas para tal fin por lo que están conformados reactores, resistencia y condensadores con las características de diseño adecuadas que les permite un adecuado funcionamiento como filtros de la 5°, 7° y 11° armónicas de corriente y a la vez permitan compensar el factor de potencia requerido.

Para minimizar el contenido armónico del sistema se considera la Alternativa de Instalación de dos bancos de condensadores de 280 y 240 kVAR a 230 V. con filtros de rechazo de accionamiento automático en las subestaciones 1 y 2 respectivamente, ambos bancos desempeñaran una doble función como son: compensar la energía reactiva requerida por cada subestación para mejorar el factor de potencia y a la vez reducir los niveles de distorsión armónica mediante la eliminación o mitigación del 5°, 7° y 11° armónico a niveles por debajo de los límites indicados en las Normas.

Dichos bancos estarán compuesto por:

b.1 Para la S. E. N° 1

- Equipo de control compuesto por un regulador de energía reactiva de 12 pasos, 400V. tipo RS485, Smart 12
- Equipos de Fuerza, compuesto por:
 - 1 Interruptor 3 x 1250 A. (Reg.), 85 kA./230V., T7S, ABB
 - 6 Porta fusibles unipolares 500 V. NH-00
 - 18 Porta fusibles 500V., NH-1
 - 6 fusibles de 100 A., 500 V.,
 - 18 fusibles de 200 A., 660 V., NH-1
 - 2 Contactores p/condensador de 25 kVar. / 230 V., Bob. 230 V. 60 Hz.
 - 6 Contactores p/condensador de 45 kVar. / 230 V. Bob. 230 V. 60 Hz.
 - 8 Resistencia de descarga rápida de 2 x 1500 Ω /20W.
 - 2 Reactancias para filtros de rechazo 7%, 2 de 20 kVar. / 230V., 60 Hz.
 - 6 Reactancias para filtros de rechazo 7%, 2 de 40 kVar. / 230V., 60 Hz.
 - 2 Condensadores en caja metálica de 20 kVar. / 230V., 60 Hz.
 - 6 Condensadores en caja metálica de 40 kVar. / 230V., 60 Hz.
- Implementos auxiliares necesarios para su adecuada instalación en la red como son:
 - 2 termostatos ambientales, 0 - 60 °C. p/ventilador, 1 NA
 - 8 Ventiladores axiales de 50 m³/h. 6” de diám., c/rejilla y filtro
 - 1 Juego de barras colectoras de 5 x 40 mm y 1 de barras de tierra de 3 x 25 mm²

b.2 Para la S.E. N° 2

- Equipo de control compuesto por un regulador de energía reactiva de 12 pasos, 400V. tipo RS485, Smart 12
- Equipos de Fuerza, compuesto por:
 - 1 Interruptor 3 x 1000 A. (Reg.), 85 kA./230V., T7S, ABB
 - 6 Porta fusibles unipolares 500 V. NH-00
 - 15 Porta fusibles 500V., NH-1
 - 6 fusibles de 100 A., 500 V.,
 - 15 fusibles de 200 A., 660 V., NH-1
 - 2 Contactores p/condensador de 25 kVar. / 230 V., Bob. 230 V. 60 Hz.
 - 5 Contactores p/condensador de 45 kVar. / 230 V. Bob. 230 V. 60 Hz.
 - 7 Resistencia de descarga rápida de 2 x 1500 Ω /20W.
 - 2 Reactancias para filtros de rechazo 7%, 2 de 20 kVar. / 230V., 60 Hz.
 - 5 Reactancias para filtros de rechazo 7%, 2 de 40 kVar. / 230V., 60 Hz.
 - 2 Condensadores en caja metálica de 20 kVar. / 230V., 60 Hz.
 - 5 Condensadores en caja metálica de 40 kVar. / 230V., 60 Hz.
- Implementos auxiliares necesarios para su adecuada instalación en la red como son:
 - 2 termostatos ambientales, 0 - 60 °C., P/ventilador, 1 NA
 - 7 Ventiladores axiales de 50 m³/h. 6" de diám., c/rejilla y filtro
 - 1 Juego de barras colectoras de 5 x 40 mm y 1 de barras de tierra de 3 x 25 mm²

Los filtros de rechazo permitirán reducir la distorsión de armónicas a niveles del 3% o menos el cual será verificado constantemente por el equipo analizador incorporado.

La instalación de los nuevos bancos equipados como filtros, permitirá el retiro de los actuales bancos de condensadores, pues estos no pueden conformar los filtros porque sus características técnicas no son las adecuadas para ello y por haber estado sometidos a niveles sobretensiones que no aseguran su buen funcionamiento.

- c. Para lograr una protección completa del sistema eléctrico del centro comercial, se hace necesario también la instalación de supresores de tensiones transitorias o TVSS, dispositivos que permiten limitar los picos de las sobretensiones transitorias a niveles aceptables para los equipos electrónicos y además ofrecen protección frente a ruidos eléctricos de alta frecuencia que pueden originar el deterioro progresivo de los equipos conectados a la red. Por tanto estos equipos proporcionan una protección completa frente a las perturbaciones mas habituales en una instalación critica.

- d. Se debe organizar y actualizar la información sobre el sistema eléctrico en lo que se refiere a:
- Actualizar los diagramas unifilares de baja tensión (230V.) y media tensión (10 kV.) de cada subestación del centro comercial.
 - Asimismo se debe actualizar los sistemas de puesta a tierra de cada subestación del centro comercial.
- e. Se debe optimizar los programas de mantenimiento predictivo y preventivo, para mejorar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico.

En el Anexo A se presenta las características técnicas de los condensadores y reactores propuestos para la conformación de los filtros de rechazo de las componentes armónicas que a la vez conforman los bancos compensadores del factor de potencia del sistema eléctrico del centro comercial.

CAPITULO VI COSTOS DE LA CALIDAD DE ENERGIA

6.1 El costo de la mala calidad de la energía eléctrica

La energía eléctrica al ser una materia prima importante del cual dependen todas las actividades del quehacer humano, hace necesaria que la calidad de la misma en cualquier sistema eléctrico, también sea importante con la finalidad de garantizar un buen resultado de la actividad en la que esta siendo empleada, por ello es necesario tener una idea de los costos que se pueden esperar conociendo los efectos ocasionados por los defectos de la calidad de la energía.

Lo cual hace necesario conocer y comprender la naturaleza de los problemas y estudiar la forma en que cada uno de ellos afecta las diferentes actividades económicas y que pérdidas pueden ocasionar.

6.2 Riesgos de sufrir problemas de calidad de energía eléctrica.

El riesgo de sufrir problemas de calidad de energía en cualquier sistema eléctrico, depende principalmente de factores como son:

- La calidad de la tensión entregada por el suministrador
- Los tipos de cargas de la instalación y su estado de conservación.
- La sensibilidad del comportamiento de los equipos frente a las perturbaciones

Lo que implica, la no existencia de soluciones únicas y genéricas sino que por el contrario, implica plantear soluciones técnico económicas específicas teniendo en cuenta los factores anteriormente indicados poniendo especial énfasis en los dos últimos por cuanto éstos están dentro del ámbito de responsabilidad del usuario y por tanto depende de su toma de decisiones.

6.3 Problemas más frecuentes de la calidad de la energía eléctrica

En el país no existen estudios efectuados sobre problemas que se presentan en la calidad de la energía a diferencia de Europa en la cual un estudio realizado por el Instituto Europeo del Cobre en el año 2001 en una muestra de 1400 usuarios en 8 países de la Unión Europea, se estableció que los problemas mas frecuentes con la calidad de la energía, en las industrias y edificios de oficinas son los que se presentan en la Tabla N° 6.1

TABLA N° 6.1 Problemas mas frecuentes de calidad de energía en la U.E.

PROBLEMA	Porcentaje %
Bloqueo de ordenadores	20.24
Parpadeo	19.32
Daños a los equipos	16.74
Equipos de procesos de datos	16.01
Sobrecargas	14.26
Problemas de conex. de grandes cargas	13.43
Sobrecalentamiento del neutro	10.12
Problemas de líneas largas	10.00
Desconexiones intempestivas	9.20
Reclamos de facturación	5.15

Según este estudio, cualquier instalación tiene entre un 5 a un 20% de probabilidades de sufrir una o más de los problemas indicados. Sin embargo deja aclarado que la calidad de la energía deficiente no es la única causa de ellas.

La importancia del estudio anterior radica en que sirve de referente para nuestra realidad teniendo presente las diferencias del caso, habida cuenta que, en la mayoría de los problemas ahí considerados tienen como causa u origen la presencia en mayor o menor grado de las componentes armónicas.

6.4 Soluciones a los problemas de calidad de la energía eléctrica

El estudio mencionado anteriormente también presenta el resultado de las encuestas sobre las diferentes soluciones adoptadas para la solución de los problemas de calidad de energía presentados. Los resultados obtenidos muestran que la variedad de las soluciones para los problemas de calidad de energía es bastante amplia y no existe una solución única, sino que por el contrario, para cada tipo de problemas de calidad existe un conjunto de posibles medidas correctoras varias de las cuales podrían aplicarse con éxito relativo.

En la práctica es común que coexistan diferentes problemas de calidad de energía por lo que, las soluciones a adoptarse dependerán del tipo y tamaño del sistema eléctrico evaluado y su interrelación con los otros sistemas, lo que hace necesaria que las soluciones a plantearse, deberán ser compatibles entre si y con las cargas existentes en el sistema eléctrico teniendo en cuenta que éstas no son estáticas sino que por el contrario son variables y dependen de muchos factores. En la Tabla N° 6.2 se muestra el resultado de las encuestas sobre las soluciones empleadas en problemas de calidad de energía.

TABLA N° 6.2 Soluciones empleadas en problemas de calidad de energía

SOLUCIONES	Porcentaje %
Protección de la fuente contra sobrecargas	60.85
Uso de UPS	55.36
Medición de la verdadera tensión eficaz TRMS	54.44
Reducción del régimen de los equipos	32.00
Circuitos derivados independientes	25.16
Recableado total	24.25
Malla de puesta a tierra	21.96
Uso de filtros pasivos	16.00
Uso de filtros activos	14.20
Recableado TN-S	11.90
Neutro de mayor sección	6.90

En el caso nacional en que, por lo general pocas veces se cumplen con las normas técnicas tanto de fabricación como de instalación, es de esperar que los problemas a encontrar así como las soluciones a aplicar sean más complicados aun.

6.5 Estimación de los costos de la mala calidad de la energía eléctrica.

La estimación de los costos de los problemas de calidad de la energía en términos de pérdidas de producción y del costo de las interrupciones son bastante complejas y varían mucho con el tipo de industria o actividad que se desarrolla y su cuantificación resulta aun más complicada debido a la diversidad de factores a considerar para ello. Sin embargo el costo de las medidas correctivas a asumir si son mas factibles de evaluar dentro de los márgenes y criterios normales de inversión.

El paso inicial para determinar cuanto invertir en la prevención para compensar el riesgo de que se produzcan fallas es comprender la naturaleza de los problemas o defectos que afectan la calidad de la energía y evaluar la forma de cómo la presencia de cada uno de ellos afecta la actividad que se desarrolla y que perdidas pueden ocasionar.

Entre los principales defectos que afectan la calidad de la energía se tienen a:

a) La distorsión armónica

Cuyos orígenes y efectos fueron tratados anteriormente, es uno de los principales causantes de la mala calidad de la energía, que presenta la particularidad de ser mayormente generado por el propio usuario dentro de su sistema y que tiende a propagarse a la red publica si no se efectúa su detección y mitigación oportuna.

Los principales efectos producidos por la presencia de distorsión armónica en los sistemas eléctricos son: la reducción de la eficiencia de la energía, la descoordinación de los sistemas de protección que ocasionaran desconexiones imprevistas, el incremento de pérdidas en cada uno de las partes del sistema eléctrico las que se van a convertir en calor que a su vez va a afectar el tiempo de vida de todos los componentes del sistema reduciéndolos significativamente haciendo necesaria su reposición en corto tiempo

Estos efectos negativos pueden generar a la vez altos costos de fallas, ya sea por la reposición de equipos, como los que se producen por las desconexiones intempestivas del sistema que son difíciles de cuantificar por los efectos colaterales que presentan.

Si se comparan los costos generados por las fallas, con los costos de las medidas que se tendrían que adoptar para evitarlos, éstos resultan relativamente menores y pueden ser más fácilmente cuantificables, ya que éstos estarían representados por los costos del equipamiento adecuado para mitigar la presencia de la distorsión en el sistema.

b) Apagones

Son los defectos más evidentes de los problemas de calidad de la energía que tiene duración variable, y que se manifiesta como el corte de tensión que puede tener como fuente de fallas la red pública de suministro de energía o la red o instalación propia del usuario. La protección en estos casos es eliminando los puntos débiles que puedan ocasionar fallas en las instalaciones o redes propias y, por otro lado, determinar la necesidad de implementar una fuente de alimentación de emergencia.

c) Bajadas de tensión

Las bajadas de tensión o huecos son disminuciones del valor eficaz de la tensión de alimentación de corta duración que puede variar desde una fracción de segundo hasta varios segundos. Las bajadas de tensión se caracterizan por su duración y la presencia de una tensión remanente con un porcentaje mínimo de la tensión eficaz. En la mayoría de los casos estas bajadas son producidas por las fallas en la red de suministro.

La protección en estos casos es proporcionada por la instalación de sistemas de alimentación ininterrumpida, en los cuales la alimentación de la carga es suministrada continuamente desde una batería de acumuladores, que se carga constantemente desde la red de alimentación y proporciona inmunidad contra las bajadas de tensión

c) Perturbaciones transitorias

Son perturbaciones de tensión de muy corta duración, pero de gran magnitud, de hasta varios miles de voltios, con un tiempo de subida muy rápido. La mayoría de éstas proceden de descargas atmosféricas o de conmutación de cargas muy grandes.

La protección en estos casos debe contemplar la instalación de protección contra sobretensiones transitorias como los TVSS que son diseñados para estos casos.

Así como la mejora de los sistemas de puestas a tierra de las instalaciones que deben presentar una baja impedancia dentro de una amplia gama de frecuencias.

6.6 Análisis de las inversiones en soluciones de problemas de calidad de energía

La mala calidad de la energía puede tener importantes repercusiones en el funcionamiento de cualquier tipo de sistemas eléctricos, pero existen una amplia variedad de equipos y tecnología adecuada para aliviar o mitigar los efectos o resolver los problemas que puedan causar. Ello hace necesaria efectuar evaluaciones económicas sobre las ventajas que éstas tecnologías puedan aportar para mejorar el rendimiento de los sistemas en los cuales se van a incorporar.

En los problemas de calidad de energía como en toda actividad económica, la toma de decisiones sobre cualquier inversión, se basa en evaluar la repercusión económica generada por los efectos de la mala calidad de la energía y compararla con los costos de las diversas medidas a adoptar para mejorarla.

La evaluación de estas inversiones se puede realizar teniendo en cuenta principalmente aspectos como:

- Estimación del rendimiento de la Calidad de la Energía del sistema existente.
- Estimación de los costos adicionales derivados de la mala calidad de la energía
- Estimación de los costos de las diversas alternativas planteadas para la mejora de la calidad de la energía.
- Desarrollo del análisis económico comparativo de las diferentes alternativas de solución planteadas.

En el caso de la evaluación de los dos primeros aspectos son los que más dificultades presentan para su desarrollo pues dependen del tipo de actividad en la que se emplea la energía, la gran diversidad de efectos colaterales que la mala calidad de la energía va generar.

6.7 Desarrollo del análisis económico comparativo de las diferentes soluciones

El desarrollo del análisis económico comparativo de las diferentes soluciones para mejorar la calidad de la energía se realiza usando los indicadores conocidos como son:

- a) **El Valor Actual Neto (VAN)** que es el valor actual de los flujos de los beneficios producidos por el proyecto durante el periodo de evaluación menos los costos generados por este en el mismo periodo, descontados a una Tasa de Descuento, cuyo valor esta definido en función del costo de capital de cada empresa.

De acuerdo a este parámetro, la viabilidad de una inversión se define según el tipo de proyecto así se tiene que en:

- Proyectos independientes una inversión debe ser aceptada si el VAN es positivo y rechazado si es negativo.
- Proyectos mutuamente excluyentes La inversión a elegirse será aquella que presente un mayor VAN.

b) **La Tasa interna de retorno (TIR)**

La tasa interna de retorno de una inversión es la tasa de descuento con la cual el valor actual neto (VAN) se hace cero. La regla para aceptar o rechazar la inversión indica que:

- En proyectos independientes la inversión debe ser aceptada si el TIR hallado es mayor que el costo de capital.
- En proyectos excluyentes la inversión a elegirse será aquella cuya TIR sea mayor, siempre que ésta sea mayor que el costo de capital.

6.8 Desarrollo del análisis económico de la alternativa de solución del Caso Práctico

En el caso práctico analizado en el Capítulo V del presente informe se ha considerado la alternativa de reemplazar los bancos de condensadores por un nuevo banco equipado con su filtro de rechazo en base al análisis económico siguiente:

El cálculo de los parámetros se efectuó en base a los siguientes datos:

a. Pago anual por energía del centro comercial	337,747.00 US \$
b. Inversión total en los nuevos bancos operando	39,840.00 US \$
c. Ahorro anual en energía= 0.03 de (a)	9,840.00 US \$
d. Costo de mantenimiento anual	292.00 US \$
e. Periodo de vida útil	10 años
f. Tasa de descuento en US \$	10 %

En base a estos datos se obtuvo: $VAN = 24,071.00$ US \$

$$B/C = 1.6$$

Los indicadores hallados nos aseguran la viabilidad económica del proyecto

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

1.- Las cada vez mas escasas fuentes de energía así como los altos costos de producción, han convertido a la energía eléctrica, en el principal insumo de cualquier actividad económica, como consecuencia de ello se ha generado la búsqueda incesante de la eficiencia en su generación, transporte, distribución y uso como insumo, mediante la automatización de las diferentes actividades relacionadas con ellas, situación que su vez ha dado lugar al empleo masivo de microprocesadores y otros elementos de electrónica de potencia que se han convertido en parte importante de todos los equipos accionados por energía eléctrica, situación que las ha convertido en la mayoría de los casos cargas no lineales, que al ser conectadas o integradas a cualquier sistema eléctrico generarán distorsiones armónicas en ellas.

2.- Si bien la calidad de la energía eléctrica es definida por factores como son: la distorsión armónica, los apagones, las bajadas de tensión y las perturbaciones transitorias, se puede afirmar que, la distorsión armónica se ha convertido actualmente en el factor mas importante de ellas, por la diversidad de efectos nocivos que su presencia produce en cada uno de los componentes que conforman cualquier sistema eléctrico y en la capacidad que tienen éstas de propagarse de un sistema a otro si antes no son detectados y mitigados o atenuados mediante diferentes métodos existentes.

3.- Actualmente, la presencia de distorsión armónica en los diferentes sistemas eléctricos es principalmente responsabilidad de los usuarios o consumidores, pues son éstos los que van ha influir en la calidad de la energía al conectar sus cargas no lineales generadoras de distorsiones armónicas a los diferentes sistemas eléctricos, por lo tanto es necesario que ellos puedan contar con información sencilla y precisa que les permita tener una idea clara de las responsabilidades y de la necesidad que hay de adoptar medidas correctivas en sus sistemas eléctricos propios para eliminar o mitigar la presencia de las componentes armónicas de sus sistemas y evitar su propagación en las redes aledañas y las públicas.

4.- En el presente informe se ha tratado de presentar una síntesis secuenciada y resumida sobre las componentes armónicas, sobre sus orígenes y efectos sobre los diferentes componentes de los sistemas eléctricos así como la necesidad de su detección, cuantificación y eliminación o mitigación a fin de que el lector que a la vez es también un usuario o consumidor pueda tener una idea total de las componentes armónicas.

5.- La presencia de las componentes armónicas hace necesaria el reemplazo de los diferentes equipos de medición de parámetros que fueron diseñados para su uso sin considerar la presencia de las componentes armónicas que se ha generalizado actualmente en todos los sistemas eléctricos.

6.- La detección de la presencia de las componentes armónicas en los sistemas eléctricos se efectúa preferentemente mediante la medición de sus parámetros representativos con el uso de medidores especiales capaces de medir corrientes y tensiones no sinusoidales, cuyos costos por lo general son bastante elevados, hecho que origina que, las mediciones a efectuarse para la detección de los armónicos resulten también costosas, lo cual dificulta la realización de mediciones mas continuas por la falta del financiamiento respectivo.

7.- En el país existen cientos de centros comerciales del mismo tipo que el caso práctico presentado en el presente informe, cuyos sistemas eléctricos soportan la conexión de todo tipo de cargas sin control alguno sobre la posible presencia de las componentes armónicas en su sistema por carecer de instrumentos de medición adecuados y el personal calificado necesario para efectuar las mediciones e interpretar los resultados.

8.- Se considera que las componentes armónicas tienen gran influencia en la calidad de la energía, por la gran variedad de efectos nocivos que éstas generan sobre todos los componentes de los sistemas eléctricos, incrementando con ello significativamente las probabilidades de ocurrencias de fallas, haciéndolos por lo tanto mas vulnerables, sino no son detectados y eliminados oportunamente.

9.- La presencia de las componentes armónicas en los sistemas eléctricos de no ser detectadas a tiempo, podrían generar grandes perdidas económicas por conceptos de incrementos de perdidas de energía, sobredimensionamiento y reposición de equipos, bajas de productividad y los daños colaterales que se generan por la mala calidad del servicio los cuales resultan en la mayoría de los casos de difícil cuantificación, mientras que los gastos de su detección y de la adopción de las medidas para neutralizar su presencia en las redes resultan relativamente mucho menores pues ellos estarían representados por los gastos requeridos para implementar los dispositivos mitigadores mas sus costos de operación.

10.- El efectuar estudios sobre los niveles de distorsión existente en las redes eléctricas conducirá a tener una idea clara sobre las verdaderas causas de la falla de los diferentes componentes de los sistemas eléctricos y a la vez permitirá tomar las medidas correctivas mas adecuadas para mitigar su presencia y sus efectos negativos.

11.- En el país no existen estudios de investigación realizados por instituciones serias sobre la presencia y efectos de las componentes armónicas en los sistemas eléctricos existentes.

12.- La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos vigente solo exige el control sobre las componentes armónicas de tensión para las cuales ha establecido los límites respectivos, sin embargo a pesar de ser las componentes armónicas de corriente las más peligrosas no se han fijado límites para ellas.

13.- En el caso practico presentado en el presente informe los valores medidos para las tasas de distorsión armónica de tensión del 6.1 % en la S.E N° 1 y 5.1 % en la S.E N° 2 son menores que la tasa de 8% establecida por la norma NTCSE que regula la calidad de servicio eléctrico en el país, ello no descarta la importancia y necesidad de medir la distorsión armónica total y los valores individuales de corriente presentes en el sistema como ocurrió en este caso, en el cual las tasas de distorsión armónica de corriente de 27.3 % y 14.5 % medidas para la S.E. N° 1 y 2 respectivamente, resultan elevadas si se comparan con los límites establecidos en la norma IEEE-519, resultados que hacían necesaria la aplicación de medidas correctivas para reducir estas altas tasas de distorsión de habida cuenta de que son las armónicas mas peligrosas en todo sistema eléctrico.

14.- La detección de la presencia significativa de componentes armónicas de tensión y corriente, mediante las mediciones efectuadas en las instalaciones del centro comercial del caso practico usando equipos de medición modernos, permitió dar un nuevo enfoque para solucionar las diferentes fallas que se venían presentando en su sistema eléctrico, detección esta que no se pudo hacer con anterioridad porque los operadores del sistema no cuentan con instrumentos modernos que les permita tener información sobre la presencia de estas distorsiones, razón por la cual las soluciones que se planteaban, se limitaban al recambio de los equipos afectados sobredimensionándolos.

15.- La solución al problema de la presencia de componentes armónicas en el sistema eléctrico evaluado será resuelto en parte con la instalación de dos bancos de condensadores con sus respectivos reactores formando filtros de rechazo de armónicas sintonizados para mitigar armónicas de orden 5°, 7°y 11°, que a la vez permitirán efectuar la compensación del factor de potencia del sistema.

Recomendaciones:

1.- Habida cuenta que, la mayor responsabilidad en la generación de la distorsión armónica en los sistemas eléctricos recae en los usuarios, se considera necesario promover la difusión sobre lo que son las componentes armónicas, sus efectos en los sistemas eléctricos y la necesidad de su detección y mitigación a fin mantener la calidad de la energía dentro de límites aceptables establecidos en las normas técnicas, creándose para ellos centros de asesoramiento y capacitación para los clientes importantes (como los del caso presentado), que, les permita tener mejores criterios para las tomas de decisiones en lo que respecta a las mejoras que requieran hacer en sus sistemas eléctricos.

2.- En el caso práctico tratado en el presente informe, en base a la información obtenida en las mediciones efectuadas y la antigüedad del sistema eléctrico se recomienda la realización de un conjunto de actividades que tienen por finalidad el mejorar la calidad del servicio en sus instalaciones, siendo las principales las siguientes:

- La ejecución de la mejora del sistema de puesta a tierra.
- Reagrupación de cargas generadoras de componentes armónicas a fin de aislarlas y dotarles de filtros pasivos adecuados al espectro de armónicas que presentan.
- Instalación de 2 filtros pasivos de accionamiento automático de 280 y 240 kVAr a la tensión de 230 Voltios para la subestaciones 1 y 2 respectivamente capaces de mitigar o reducir las armónicas de orden 5^o, 7^o y 11^o.

3.- El gran crecimiento de la demanda eléctrica en el país, implica el incremento de los problemas con la calidad de la energía, principalmente de aquellos que son producidos por los usuarios en sus sistemas eléctricos propios, ello hace necesario, contar con profesionales y técnicos debidamente capacitados y entrenados en identificar las verdaderas causas u orígenes de aquellos problemas y plantear soluciones más adecuadas, por lo que se considera necesario efectuar cursos de capacitación de aquellos profesionales y técnicos que tengan interés en esta materia.

4.- Se considera necesario la ejecución de estudios piloto que permita generar el interés de las entidades del sector para que puedan financiar estudios de mayor envergadura sobre la materia, teniendo en cuenta el gran desarrollo que se viene dando en el sector eléctrico que en el futuro cercano generará problemas en la calidad de la energía.

5.- El incremento de la presencia de las componentes armónicas es una realidad presente en todo sistema eléctrico debido al gran desarrollo que ha tenido y tendrá la electrónica de potencia que ha hecho que un gran porcentaje de la carga que se conecta a la red en baja y

media tensión atendida por las empresas suministradoras, sean cargas de tipo no lineal, por lo que la tendencia al aumento de los niveles de distorsión armónica en las redes de media y baja tensión ocasionará el deterioro de la calidad de la energía eléctrica y con ello el deterioro del servicio. Por lo que se hace necesario el difundir la necesidad de la aplicación de las normas técnicas existentes sobre la materia y los beneficios económicos que acarrea su cumplimiento.

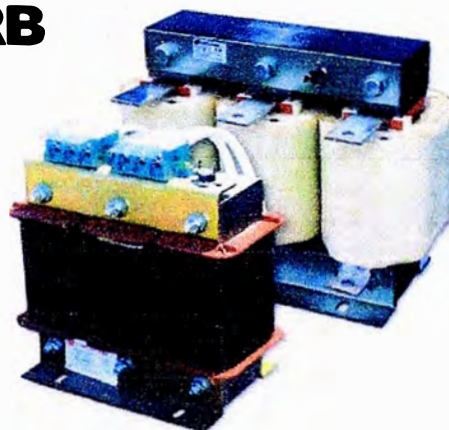
ANEXO A: Características de los condensadores y reactores de los filtros de rechazo de armónicas que funcionan como bancos de compensación del factor de carga.

Reactancias de filtrado

P-7

Reactancias R / RB

Reactancias de filtrado para filtros de rechazo



Descripción

CIRCUTOR dispone de una gama estándar de reactancias de rechazo $p = 7\%$, con una frecuencia de resonancia de 189 Hz para redes de 50 Hz (o bajo demanda 227 Hz para redes de 60 Hz). Este es el valor más frecuente de sintonía para evitar cualquier resonancia al armónico 5º y superiores. El conjunto condensador-reactancia absorbe parte de la corriente de 5º armónico y actúa como un filtro de rechazo para las frecuencias superiores. En algunas instalaciones se requieren otros valores de $p\%$, como por ejemplo 5.6% (210 Hz), 6% (204 Hz), 14% (134 Hz), etc.

CIRCUTOR puede construir bajo demanda reactancias adaptadas a cualquier valor de potencia, $p\%$, tensión y frecuencia.

Las reactancias para baja potencia, tipo R, están construidas con chapa de bajas pérdidas y bobinadas con conductor de cobre. La conexión se realiza mediante bornes adecuados. Para potencias superiores se emplean las reactancias RB con núcleo de chapa magnética con entrehierros múltiples, lo cual le confiere unas excelentes características y muy bajas pérdidas. Los bobinados son con banda de aluminio (o banda de cobre, bajo demanda) y las conexiones de entrada y salida se realizan mediante pletina.

Tanto las reactancias tipo R como las RB llevan una impregnación al vacío de barniz para aumentar el aislamiento, darle mayor consistencia mecánica y reducir el ruido.

Características

Características

Tensión	400 V Bajo demanda: hasta 1 000 V
Frecuencia de red	50 Hz Bajo demanda: 60 Hz
Potencia	Según tabla Bajo demanda otros valores
Valor de $p\%$	7% (189 Hz) Bajo demanda otros valores
Tipo de conductor	R: hilo de cobre RB: banda de aluminio
Tolerancia L	$\pm 5\%$
Linealidad (5% L)	1,8 L
Tensión de aislamiento	4 kV
Temperatura del ambiente máxima	-10 ... +45 °C
Aislamiento interno	Clase F (155 °C) Bajo demanda: clase H (180 °C)
Sobrecarga máxima	
Permanente	1,17 I_n
Transitoria (1 min)	2 I_n
Seguridad	
Termostato de protección	Apertura a 90 °C
Grado de protección	IP 00
Instalación	Interior
Normas	
	UNE-EN 60289, IEC 60076

Aplicación

Las reactancias de rechazo de la serie R / RB están indicadas para su uso en baterías en instalaciones con un alto contenido de armónicos. Las reactancias deben ser conectadas en serie con cada condensador para una protección adecuada de los condensa-

dores, y para evitar efectos de resonancia en la instalación.

Reactancias R / RB

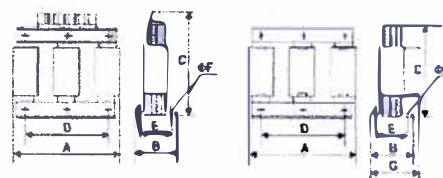
Reactancias III para filtros de rechazo

Dimensiones



RX - 7%

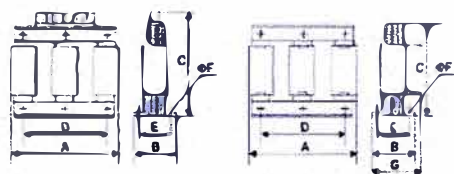
RBX - 7%



Tipo	a	b	c	d	e	f	g
RX-6,25-400	180	102	190	90	75	7	-
RX-12,5-400	180	112	192	90	85	7	-
RX-20-400	180	122	190	90	95	7	-
RX-25-400	180	137	196	90	110	7	-
RBX-40-400	292	124	231	160	110	9	175
RBX-50-400	292	144	232	160	110	9	175

R - 7%

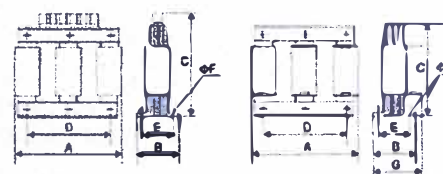
RB - 7%



Tipo	a	b	c	d	e	f	g
R-5-400	155	112	165	75	85	7	-
R-10-400	180	102	190	90	75	7	-
R-15-400	180	112	190	90	85	7	-
RB-30-400	260	124	174	150	90	7	150
RB-25-400	260	124	174	150	90	7	150
RB-30-400	290	124	231	160	90	9	150
RB-40-400	293	124	231	160	90	9	150
RB-30-400	310	144	233	160	110	9	175
RB-40-400	305	146	260	160	110	11	180
RB-30-400	335	155	280	180	120	11	185
RB-100-400	338	170	300	180	135	11	215
RB-120-400	355	170	350	200	135	13	220

R - 14%

RBC - 14%



Tipo	a	b	c	d	e	f	g
R-5-400-14%	180	102	197	90	75	7	-
R-10-400-14%	180	122	197	90	95	7	-
R-12,5-400-14%	180	137	197	90	110	7	-
R-15-400-14%	250	122	250	130	90	9	-
R-20-400-14%	250	132	250	130	100	9	-
R-25-400-14%	250	147	256	130	115	9	-
RBC-30-400-14%	285	154	233	160	120	9	181
RBC-40-400-14%	290	159	233	160	125	9	184
RBC-30-400-14%	307	164	233	160	130	9	184
RBC-40-400-14%	335	196	280	280	150	11	197

Referencias

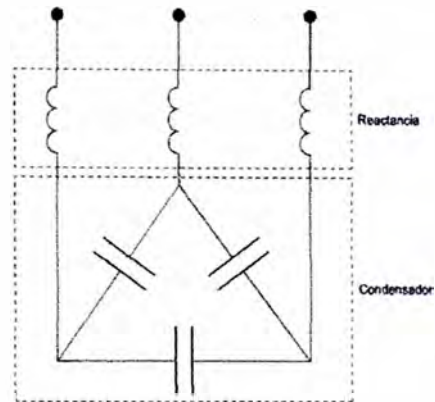
Reactancias III serie RX / RBX a 400 V c.a., 50 Hz, p = 7 % (180 HZ)

Para condensador:	kvar	I _c (A)	L (mH)	Pérdidas	Peso (kg)	Tipo	Código
CF 46 / 7,5	6,25	9	6,12	36 W	8	RX-6,25-400	P7101F
CF 46 / 15	12,5	18	3,06	53 W	9,2	RX-12,5-400	P71013
CF 46 / 25	20	30	1,82	76 W	11,5	RX-20-400	P71015
CF 46 / 30	25	37	1,53	92 W	15	RX-25-400	P71016
CF 46 / 50	40	60	0,95	145 W	20	RBX-40-400	P71018
CF 46 / 63	50	75	0,76	187 W	26	RBX-50-400	P71019

Reactancias R / RB

Reactancias III para filtros de rechazo

Conexiones



Referencias

Reactancias III serie R / RB a 480 V c.a., 50 Hz, $p = 7\%$ (189 HZ)

Para condensador:	kvar	I_n (A)	L (mH)	Pérdidas	Peso (kg)	Tipo	Código
CF 46 / 6	5	7,5	7,66	25 W	6	R-5-400 / 6-480	P70110
CF 46 / 12,5	10	15	3,83	50 W	8	R-10-400 / 12,5-480	P70115
CF 46 / 18	15	22	2,55	57 W	9,5	R-15-400 / 18-460	P70117
CF 46 / 25	20	30	1,92	76 W	14	RB-20-400 / 25-460	P70125
CF 46 / 30	25	37	1,53	90 W	14	RB-25-400 / 30-460	P70130
CF 46 / 37	30	45	1,27	120 W	19	RB-30-400 / 37-460	P70135
CF 46 / 50	40	60	0,85	145 W	20	RB-40-400 / 50-480	P70140
CF 46 / 62	50	75	0,76	185 W	27	RB-50-400 / 62-460	P70145
CF 46 / 74	60	90	0,63	205 W	31	RB-60-400 / 74-460	P70150
CF 46 / 100	80	120	0,47	235 W	38	RB-80-400 / 100-460	P70155
CF 46 / 62 x 2	100	145	0,38	250 W	50	RB-100-400 / 120-460	P70160
CF 46 / 74 x 2	120	175	0,32	295 W	58	RB-120-400 / 148-480	P70185

Reactancias III serie R / RBC a 480 V c.a., 50 Hz, $p = 14\%$ (134 HZ)

Para condensador:	kvar	I_n (A)	L (mH)	Pérdidas	Peso (kg)	Tipo	Código
CF-50/7	5	7,5	16,31	31 W	9,5	R-5-400-14% / 7-500	P70110 00 003
CF-50/14	10	15	8,15	61 W	13	R-10-400-14% / 14-500	P70115 00 003
CF-50/17	12,5	18	6,52	65 W	16	R-12,5-400-14% / 17-500	P70117 00 003
CF-50/21	15	22	5,43	71 W	21,5	R-15-400-14% / 21-500	P70120 00 003
CF-50/27	20	30	4,07	110 W	25	R-20-400-14% / 27-500	P70125 00 003
CF-50/34	25	37	3,26	112 W	30,5	R-25-400-14% / 34-500	P70130 00 003
CF-50/41	30	45	2,71	146 W	35	RBC-30-400-14% / 41-500	P70135 00 003
CF-50/55	40	60	2,03	181 W	41	RBC-40-400-14% / 55-500	P70140 00 003
CF-50/69	50	75	1,63	225 W	48	RBC-50-400-14% / 69-500	P70145 00 003

CF-6B

Condensador especial para filtros de armónicos de la Serie FRE



Descripción

Los condensadores CF están diseñados para ser montados con la serie de reactancias RB, reactancias para filtro de rechazo al 7 % (189 Hz).

Los condensadores CF para filtros de rechazo se han diseñado teniendo en cuenta:

- Tensión de trabajo de la red
- Aumento de tensión provocado por la reactancia de filtro
- Potencia inductiva consumida por la reactancia
- Margen de seguridad para posibles sobrecargas por armónicos

Por tanto, el condensador se dimensiona para que, a la tensión de servicio de la red, se entregue la potencia deseada.

Aplicación

Su aplicación se centra en la compensación en instalaciones tanto en cargas fijas como en variaciones de cargas (baterías de condensadores), y con contenido de armónicos es elevado y/o existencia de riesgo de resonancia. Aplicación para sistemas estáticos.

Características

Características eléctricas

Sobrecarga	1,3 veces la corriente nominal en permanencia
	10 %, 8 sobre 24 horas
	15 %, hasta 15 minutos sobre 24 horas
	20 %, hasta 5 minutos sobre 24 horas
	30 %, hasta 1 minuto sobre 24 horas
Sobretensión	
Nivel de aislamiento	3 / 15 kV
Tolerancia de potencia	-5...+15 %
Resistencia de descarga	75 V / 3 minutos
Frecuencia	50 ó 60 Hz
Pérdidas:	<ul style="list-style-type: none"> • Dieléctricas • Totales
	< 0,2 W / kvar
	< 0,5 W / kvar
Protecciones	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneración dieléctrica • Fusible interno • Sistema de sobrepresión • Vermiculita

Características mecánicas

Envoltorio	Acero tratado y pintado color RAL 3005
Bornes:	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia • Tierra
	<ul style="list-style-type: none"> • M6 para CV, M10 para CQ, CS, CS-6B, CF, CF-6B • M8
Paros de apriete	<ul style="list-style-type: none"> • CV 5 Nm • CQ, CS, CS-6B, CF, CF-6B: 15 Nm
Grado de protección	IP 42 con tapa cubrebornes

Condiciones ambientales

Temperatura Clase C:	Medida diaria	40 °C
	Media anual	30 °C
	Máxima	50 °C
	Mínima	-40 °C
Humedad		80 %
Altitud		2 000 m

Condiciones de montaje

Tipo de montaje	Vertical
Ventilación	Natural o forzada según diseño de armario
Distancia entre condensadores	Mínimo 4 cm
Peso	0,4 kg

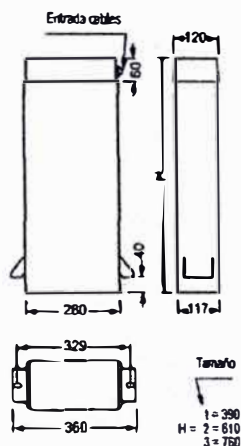
Normas

CEI 60831-1, CEI 70/7, UNE 20827, UNE 20810, BS 1650, VDE 660

CF-6B

Condensador especial para filtros de armónicos de la Serie FRE

Dimensiones



Referencias

CF 460-6B V

kvar (L-C) (400 V)	kvar (L-C) (440 V)	Peso (kg)	Para reactancia	Tipo	Código
5	6,26	6	RE-6-400 / 6-460	CF-46/6-6B	R2125A
10	12,5	6	RE-10-400 / 12,5-460	CF-46/12,5-6B	R2125D
15	18,75	6,5	RE-15-400 / 19-460	CF-46/19-6B	R2125F
20	25	7	RE-20-400 / 25-460	CF-46/25-6B	R2126G
25	30	8	RE-25-400 / 30-460	CF-46/30-6B	R2125H
30	37,5	9,5	RE-30-400 / 37-460	CF-46/37-6B	R2125J
40	50	12	RE-40-400 / 50-460	CF-46/50-6B	R2125K
50	60	16	RBE-50-400 / 60-460	CF-46/62-6B	R2125L
60	75	18,5	RBE-60-400 / 74-460	CF-46/74-6B	R2125P
80	100	18,5	RBE-80-400 / 100-460	CF-46/100-6B	R2125R

CF 260-6B V

kvar (L-C) (230 V)	Peso (kg)	Para reactancia	Tipo	Código
5	7	RE-5-230	CF-26/6,3-6B	R2122A
10	8	RE-10-230	CF-26/12,5-6B	R2122D
15	10,5	RE-15-230	CF-26/18-6B	R2122E
20	13	RBE-20-230	CF-26/25-6B	R2122G
25	15	RBE-22-230	CF-26/30-6B	R2122H
30	17	RBE-30-230	CF-26/37-6B	R2122J
40	21	RBE-40-230	CF-26/48-6B	R2122K

NOTA: Para compensar el efecto de sobretensión de la reactancia, el condensador ha sido dimensionado para 460/260 V y para una potencia superior en un 25% a la indicada en todas las columnas.

CF



Descripción

Los condensadores CF están diseñados para ser montados con la serie de reactancias RB. Es decir, reactancias para filtro de rechazo al 7 % (189 Hz).

Los condensadores CF para filtros de rechazo se han diseñado teniendo en cuenta:

- Tensión de trabajo de la red
- Aumento de tensión provocado por la reactancia de filtro
- Potencia inductiva consumida por la reactancia
- Margen de seguridad para posibles sobrecargas por armónicos

Por tanto, el condensador se dimensiona para que, a la tensión de servicio de la red, se entregue la potencia deseada.

Aplicación

Su aplicación se centra en la compensación en instalaciones tanto en cargas fijas como en variaciones de cargas (baterías de condensadores), y con contenido de armónicos elevado y/o existencia de riesgo de resonancia.

Características

Características eléctricas

Sobrecarga	1,3 veces la corriente nominal en permanencia
	10 %: 8 sobre 24 horas
	15 %: hasta 15 minutos sobre 24 horas
	20 %: hasta 5 minutos sobre 24 horas
	30 %: hasta 1 minuto sobre 24 horas
Nivel de aislamiento	3 / 15 kV
Tolerancia de potencia	-5 / +15 %
Resistencia de descarga	75 V / 3 minutos
Frecuencia	50 ó 60 Hz
Pérdidas:	<ul style="list-style-type: none"> • Dieléctricas • Totales
	< 0,2 W / kvar
	< 0,5 W / kvar
Protecciones	<ul style="list-style-type: none"> • Regeneración dieléctrica • Fusible interno • Sistema de sobrecarga • Vermutación

Características mecánicas

Envolvente	Acero tratado y pintado color RAL 3005
Bornes:	<ul style="list-style-type: none"> • Potencia • Tierra
	<ul style="list-style-type: none"> • M6 para CV, M10 para CQ, CS, CS-6B, CF, CF-6B • M6
Par de apriete	<ul style="list-style-type: none"> • CV 5 Nm • CQ, CS, CS-6B, CF, CF-6B 15 Nm
Grado de protección	IP 42 con tapa cubrebornes

Condiciones ambientales

Temperatura Clase C:	Medida diaria	40 °C
	Media anual	30 °C
	Máxima	50 °C
	Mínima	-40 °C
Humedad		80 %
Altitud		2 000 m

Condiciones de montaje

Tipo de montaje	Vertical
Ventilación	Natural o forzada según diseño de armario
Distancia entre condensadores	Mínimo 4 cm
Peso	0,4 kg

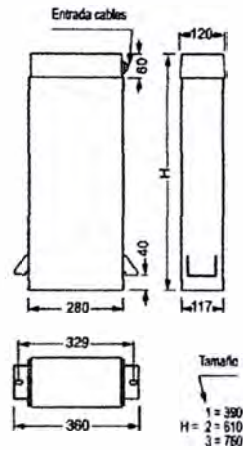
Normas

CEI 60831-1, CEI 70:7, UNE 20827, UNE 20010, BS 1650, VDE 560

CF

Condensador para filtro de rechazo

Dimensiones



Referencias

CF 260 V

kvar (L-C) (230 V)	Peso (kg)	Para reactancia	Tipo	Código
5	5	R-5-230	CF 26/5,3	R2112A
10	7	R-10-230	CF 26/12,5	R2112D
15	9,5	RB-15-230	CF 26/18	R2112E
20	12	RB-20-230	CF 26/25	R2112O
25	14	RB-25-230	CF 26/30	R2112H
30	16	RB-30-230	CF 26/37	R2112J
40	20	RB-40-230	CF 26/48	R2112K
50	21	RB-50-230	CF 26/60	R2112L

CF 480 V

kvar (L-C) (400 V)	kvar (L-C) (440 V)	Peso (kg)	Para reactancia	Tipo	Código
5	6,25	6	R-5-400 / 6-460	CF 46/6	R2115A
10	12,5	6	R-10-400 / 12,5-480	CF 46/12,5	R2115D
12,5	15	6,5	R-12,5-400 / 15-480	CF 46/15	R2115E
15	18,75	6,5	R-15-400 / 18-460	CF 46/19	R2115F
20	25	7	RB-20-400 / 25-480	CF 46/25	R2115G
25	30	8	RB-25-400 / 30-460	CF 46/30	R2115H
30	37,5	9,5	RB-30-400 / 37-460	CF 46/37	R2115J
40	50	12	RB-40-400 / 50-480	CF 46/50	R2115K
50	60	16	RB-50-400 / 62-460	CF 46/62	R2115L
60	75	18,5	RB-60-400 / 74-460	CF 46/74	R2115P
80	100	20	RB-80-400 / 100-480	CF 46/100	R2115R

CF 790 V

kvar (L-C) (690 V)	Peso (kg)	Para reactancia	Tipo	Código
5	6	RE-5-400 / 6-460	CF 79/6	R211DA
10	6	RE-10-400 / 12,5-480	CF 79/12,5	R211DD
15	6,5	RE-15-400 / 18-460	CF 79/19	R211DF
20	7,8	RE-20-400 / 25-460	CF 79/25	R211DG
25	8	RE-25-400 / 30-460	CF 79/30	R211DH
30	9,5	RE-30-400 / 37-460	CF 79/37	R211DI
40	12	RE-40-400 / 50-460	CF 79/50	R211DK
50	16	RBE-50-400 / 62-460	CF 79/62	R211DL
60	18,5	RBE-60-400 / 74-460	CF 79/74	R211DP
80	19	RBE-80-400 / 100-460	CF 79/100	R211DR

*NOTA: Para compensar el efecto de sobretensión de la reactancia, el condensador ha sido dimensionado para 450/260 V y para una potencia superior en un 25% a la indicada en todas las columnas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Normas Técnicas de la Calidad del Servicio Eléctrico
- [2] Código Nacional de Electricidad – Suministro 2006
- [3] Kerchner & Corcoran, “Circuitos de Corriente Alterna”
- [4] David Chapman, “Armónicos”
- [5] IEEE 519 1992 “Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el Control de Armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia.”
- [6] Normas IEC 6100-2-2, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4
- [7] Norma.
- [8] Eugenio Téllez Ramírez, “Distorsión Armónica”
- [9] Ramón I. Diego García, “Análisis Wavelet Aplicado a la Medida de Armónicos Interarmónicos y Sub armónicos”
- [10] Ernesto Noriega S.,” Generalidades sobre armónicos y su influencia en los Sistemas de Distribución.”
- [11] Universidad Salesiana, “Armónicos en las Redes Eléctricas”.
- [12] Iyo Horikoshi, “Análisis de las Componentes Armónicas de los Inversores Fotovoltaicos de Conexión a Red”
- [13] Alberto Sandoval Rodríguez, “Calidad de Energía Efectos sobre la medición de Variables Eléctricas” Marzo 2007
- [14] Patricio Chico Hidalgo, MSc. “Características Eléctricas de las lámparas fluorescentes compactas (CFL)”Departamento de Automatización y Control Industrial Escuela Politécnica Nacional.
- [15] José A Salazar Paredes C.O El Dorado E.E. Quito S.A. – Yaguachi e Iquique Zip Code 1701473 – Quito Ecuador – Sudamérica “Sistema de distribución bajo un entorno no lineal”