

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



APLICACIÓN DE FILTROS HIBRIDOS PARA REDUCIR ARMONICOS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL DE PRODUCTOS PLASTICOS

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

FELIX GARAY SAYAVERDE

**PROMOCIÓN
2006- I**

**LIMA – PERÚ
2010**

**APLICACIÓN DE FILTROS HIBRIDOS PARA REDUCIR
ARMONICOS EN UNA PLANTA INDUSTRIAL DE
PRODUCTOS PLASTICOS**

Dedico el presente informe a mi esposa e hijos quienes siempre creyeron en mi carrera. Agradezco de manera especial a los profesores de la UNI FIEE y amigos por el aliento constante.

SUMARIO

En el presente informe de suficiencia se trata de analizar los diferentes elementos y estructuras de los filtros híbridos paralelo, aplicados a redes trifásicos de potencia, con el objetivo principal de mejorar la calidad de energía eléctrica en una planta industrial de productos plásticos, para reducir y/o atenuar armónicos de tensión o corriente que afectan las redes de Baja Tensión. Dicha distorsión armónica se produce por el aumento de cargas no lineales en la red, para lo cual existen métodos para compensar los diferentes filtros armónicos, en especial los filtros híbridos que es el más adecuado por costo y instalación.

Dicho estudio se realiza debido que en los últimos años se ha incrementado considerablemente las cargas no lineales en todos los niveles de tensión en las redes eléctricas (residencial, comercial e industrial). Estas cargas no lineales son causantes de la degradación de la calidad del suministro y consumo de energía eléctrica

En el presente informe se ha visto conveniente aplicar los filtros híbridos en la empresa industrial de plásticos, que es afectado por distorsión armónica en la red eléctrica de baja tensión.

INDICE

PROLOGO

CAPITULO I

CONCEPTOS Y METODOLOGIA

1.1	Objetivo	2
1.2	Fundamento teórico	3
1.3	Concepto sobre armónico	3
1.3.1	Comportamiento de armónicos	3
1.3.2	La frecuencia limite	3
1.4	Origen de los problemas de armónicos	5
1.4.1	Teoría de armónica	6
1.4.2	Efectos de los armónicos	6
1.4.3	Origen de los armónicos de corriente	8
1.4.4	Efectos de los armónicos en los cables y conductores	8
1.4.5	Efecto de los armónicos en los equipos de medición	8
1.5	Niveles de los problemas de los armónicos	9
1.5.1	Implementación de los procedimientos	9
1.6	Dispositivos de electrónica de potencia	11
1.7	Efectos de los armónicos en las industrias	11
1.7.1	Efectos sobre la potencia	11
1.7.2	Factor de potencia verdadero	11
1.7.3	Efectos de la distorsión armónica en equipos	14
1.8	Ubicación de las distorsiones armónicas	14

CAPITULO II

PROBLEMÁTICA DE LOS ARMONICOS.

2.1	Contaminación armónica por cargas no-lineal	15
2.2	Los convertidores de frecuencia y la contaminación armónica	15
2.2.1	Convertidores estáticos trifásicos	16

2.3	Teoría de la serie de Fourier	18
2.4	Frecuencia fundamental y armónica	18
2.5	Armónicos de tensión y corriente	19
2.5.1	Transitorios	19
2.5.2	Variación de corta duración	20
2.5.3	Variación de larga duración	20
2.5.4	Desequilibrio de tensión	20
2.5.5	Distorsión de las formas de onda	21
2.5.6	Fluctuaciones de la tensión	21
2.5.7	Variaciones de frecuencia	22
2.6	Factor K para transformadores de potencia activa y aparente	23
2.7	Fluctuaciones, transitorias y corriente de arranque	23
2.8	Normatividad	24
2.8.1	Distorsión armónica de tensión	25
2.8.2	Distorsión armónica de corriente	26
2.8.3	Distorsión total de demanda	27
2.9	Sistema puesta a tierra	29
CAPITULO III		
DISTORCION ARMONICA, TOPOLOGIAS Y FILTROS		
3.1	Distorsión armónica	30
3.1.1	Fuentes de armónicos	31
3.2	Cargas de transformadores	31
3.2.1	Introducción	31
3.2.2	Consecuencias en el transformador	32
3.2.3	Metodología del cálculo de la limitación de la capacidad en transformadores	32
3.3	Factor de potencia trifásica	34
3.3.1	Mejorar el factor de potencia	35
3.3.2	Instalación de capacitores	35
3.4	Tipos de instrumentos, analizador de la calidad de energía	35
3.4.1	Soluciones al problema de armónicos	36
3.4.2	Estrategias de compensación	37
3.5	Introducción al filtro armónico	38
3.6	Fundamentos básicos de resonancia	40

3.7	Ancho de banda y factor Q	40
3.8	Técnicas para reducir armónicos	43
3.8.1	Filtros pasivos	47
3.8.2	Filtros activos	49
3.8.3	Filtros híbridos	49
3.8.4	Filtros de compensación activa y otros	50
3.9	compensadores activos	50
3.9.1	Introducción	51
3.9.2	Topologías de los compensadores activos de armónicos	52
3.9.3	Principio del funcionamiento del compensador activo de armónicos en paralelo	52
APITULO IV		
APLICACIÓN DE FILTROS HIBRIDOS PARA REDUCIR ARMONICOS		
4.1	Filtros híbridos	55
4.2	Aplicación de filtros híbridos	56
4.3	Utilización de filtros híbridos	59
4.3.1	Utilización de filtros activos	61
CAPITULO V		
APLICACIÓN DE FILTRO HIBRIDO EN LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS PLASTICOS		
5.1	Introducción	63
5.2	Objetivo	63
5.2.1	Datos referenciales del sistema eléctrico de la planta industrial de plásticos	67
5.3	Descripción y metodología de los trabajos	67
5.3.1	Análisis de datos recogidos	69
5.3.2	Armónicos (Norma IEEE 519 92)	73
5.3.3	Potencia activa (kW)	74
5.3.4	Corrientes en las tres fases	75
5.4	Modelamiento del sistema y diseño de solución	76
5.4.1	Alternativa de solución	77
5.4.2	Criterios de diseño del filtro	77
5.4.3	Condiciones de los programas de análisis de armónicos	78
5.4.4	Modelado de sistemas	79
5.4.5	Simulación del sistema eléctrico	80

5.4.6 Elección de las características del filtro pasivo	83
5.4.7 Compensación de distorsión armónica de corriente mediante un filtro híbrido paralelo	87
5.4.8 Compensación de distorsión armónica de corriente con filtro activo paralelo	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFIA	

PROLOGO

El objetivo principal del presente trabajo es dar soluciones a los problemas de las cargas no lineales que se generan en las industrias por las distorsiones de tensión o corriente en las redes eléctricas de Baja Tensión; dicha distorsión también existe en el sistema eléctrico de potencia.

Para reducir los armónicos se deberá aplicar los dispositivos (filtros) más adecuados, que sean técnico como económico en las plantas industriales, es decir se hace las comparaciones y combinaciones de los diferentes filtros como sus características y capacidades, de los cuales resulta el más adecuado el filtro híbrido que atenúa y reduce la presencia de cargas armónicas no lineales

El presente trabajo se ha dividido en cinco capítulos, los cuales son definidos de la siguiente forma:

En el Capítulo I, expongo los objetivos trazados, los alcances y la metodología de desarrollo del presente informe. Capítulo II, problemática de la presencia de armónicos y la aplicación de las normas de calidad de energía. Capítulo III, distorsión de los armónicos y sus diferentes topologías y filtros en los sistemas eléctricos para mejorar la calidad de energía en la red. Capítulo IV, su aplicación del dispositivo “Filtros Híbridos” para reducir armónicos y sus ventajas con los demás filtros. Capítulo V, aplicación de los filtros híbridos en la red de la planta industrial de productos plásticos para reducir los armónicos y su influencia.

Finalmente se plantea las conclusiones y recomendaciones obtenidas del presente trabajo, para atenuar la problemática indicada en el capítulo II, para lo cual se ha tenido como fuente de información las bibliografías indicadas para cada tema y se adjunta los anexos y cuadros de resultados del presente trabajo.

CAPITULO I

CONCEPTOS Y METODOLOGIA

1.1 Objetivo

El Presente informe tiene como objetivo de aplicar los dispositivos electrónicos llamados “Filtros Híbridos” en las Industrias, para reducir y/o mejorar los armónicos que son distorsiones de ondas senosoidales de tensión y corriente que se producen debido al gran incremento de carga con impedancia no lineales conectados a la red eléctrica.

1.2 Fundamento Teórico

La distorsión armónica es un fenómeno relativamente nuevo, debido a que cada vez el mayor uso de equipos electrónicos en todos los ambientes donde el uso es frecuente donde la sociedad se desarrolla, este le concierne a todas las redes eléctricas de los sectores, donde están ubicados las industrias, comercios y residencias los que se clasifican en:

a. Consumos lineales.

Para su estudio las características de los sistemas eléctricos es usual considerar la interconexión de diferentes bloques como:

- La fuente de alimentación, su tensión es senoidal
- El consumo, generalmente es constituido por resistencias, inductancias y condensadores de valor fijo; es decir el consumo de un calefactor eléctrico de 1000W y tensión de 220V efectivos

En resumen, si la tensión es sinusoidal y igualmente la corriente, en general existe un desfase entre ellos.

b. Consumos no lineales

Todo equipo o artefacto electrónico pasa por un dispositivo electrónico de potencia antes que estos sean finalmente aprovechados.

La electrónica de potencia hace usos de diodos, transistores y tiristores, todos ellos trabajan en el modo de interrupción. Es decir trabajan en dos estados:

- **Estado de conducción:** Corresponde a un interruptor cerrado, la corriente por el que un dispositivo puede alcanzar valores elevados, pero la tensión es nula es decir la disipación de potencia en el es muy pequeña.
- **Estado de bloqueo:** Corresponde a un interruptor abierto. La corriente por el dispositivo alcanza valores pequeños y la tensión es elevada, la disipación de potencia en el dispositivo es pequeña.

Todos los semiconductores de potencia pasan rápidamente de un estado a otro mediante circuitos que consumen menos de 5W.

1.3 Concepto sobre Armónicos

Desde el punto de vista eléctrico se refiere a la tensión y corriente que viajan a frecuencias proporcionales que originan distorsiones de la forma de onda senoidal, siendo una función periódica no lineal de la frecuencia fundamental, teniendo presente que su frecuencia corresponde a un múltiplo de frecuencia fundamental, como se muestra en la expresión.

$$f_{\text{armónica}} = n \times 60 \text{ Hz} \quad (1.1)$$

1.3.1 Comportamiento de armónicos

Los armónicos se comportan como fuentes de intensidad en forma paralela y a diferentes frecuencias, es decir la sumatoria de todas las intensidades es la corriente que alimenta a la carga.

Los armónicos se producen en líneas trifásicas donde teóricamente están balanceadas pero en la práctica no lo es, ya que en las fases las corrientes varían.

1.3.2 La frecuencia límite

La frecuencia límite hasta un máximo de 2500 Hz (sobre calentamiento a los transformadores y líneas de distribución) originan corrientes con pérdidas elevadas en el neutro de algunas instalaciones y disparos de protecciones.

1.4 Origen de los problemas de armónicos

Los armónicos de corriente tienen su origen en la existencia de cargas no lineales conectadas al sistema de potencia, las cargas reales son en mayor o menor medida no lineales pese a que existen un alto grado de homogeneidad entre la tensión y la corriente asociadas a las mismas, donde su característica no lineal resulta despreciable.

En otros grupos resulta lo contrario convirtiéndose en fuentes perturbadoras del sistema de potencia a continuación se detallan las cargas mas relevantes dentro de esta última categoría.

- Los rectificadores monofásicos constituyen la principal fuente de distorsión de los consumos domésticos, estos rectificadores dan lugar a formas de onda de corriente severamente distorsionadas, se usan como etapa de entrada de la mayoría de los equipos electrónicos domésticos (cocinas de inducción los reguladores de velocidad de los sistemas de aire acondicionado) para obtener un bus de continua, su acción conjunta da lugar a una fuerte distorsión en las corrientes del sistema de potencia, y originan la circulación de grandes corrientes armónicas en el conductor neutro.
- Los rectificadores polifásicos son una fuente importante de distorsión armónica dentro de las cargas industriales, estos rectificadores se usan para obtener un bus de continua en los inversores de los sistemas electrónicos de potencia, estos equipos de rectificadores son los variadores de velocidad para motores, y la potencia de estos equipos industriales son superiores a los del sector doméstico, y la amplitud de los armónicos que inyectan en la red dependen de la impedancia del lado alterna y el filtrado utilizado en el lado continuo (capacitivo, inductivo o ambos).
- Los rectificadores monofásicos y trifásicos, sean controlados o no controlados, generan microcortes en la tensión a consecuencia de los cortocircuitos instantáneos que se producen en las fases del sistema de potencia cuando la corriente conmuta de una fase a otra del rectificador.
- Los convertidores alterna-alterna basados en el recorte de la onda de tensión mediante tiristores o triacs se utilizan de forma extensiva en los compensadores estáticos de reactiva en los motores de inducción y en reguladores de las lámparas de incandescencia por lo que los armónicos de corriente aparecen como consecuencia que no existe conducción durante el periodo de la onda de tensión.
- Los hornos de arco presenta una tensión-corriente severamente no lineal muy variable en el tiempo, estos dispositivos no presentan distribución armónica constante.
- La lámpara de descarga se basan en la existencia de arco eléctrico controlado en su interior, tensión-corriente altamente no lineal, este se presenta en cargas altas en iluminación de locales extensos.

- Los transformadores generan armónicos de corriente, debido a la característica no lineal de su núcleo ferromagnético, para que exista un flujo sinusoidal es preciso que las corrientes magnetizantes presenten distorsión principalmente de tercer armónico que da lugar a un sobrepico en las mismas, así mismo algo de quinto y séptimo armónico.
- Las máquinas rotativas también pueden generar armónico aunque en menor medida que los transformadores.

Los equipos generadores de armónicos están presentes en todas las instalaciones industriales, comerciales y residenciales, generados por las cargas no lineales, que anteriormente se mencionan en general los equipos de electrónica de potencia.

El fenómeno de los armónicos es un problema para suministradores de electricidad como para los consumidores, siendo un sistema que se incrementa cada vez en el siglo XXI en mayor incidencia por el uso de equipos electrónicos modernos y motores nuevos, esto se produce por sobre cargas en tensiones y corrientes, gran parte en las redes de baja tensión denominados armónicos “**no lineales**” y para reducir dichas distorsiones se requiere instalar dispositivos conocidos como son los filtros.

1.4.1 Teoría de Armónica

Las ondas no senoidales pueden ser representadas como la suma de ondas senoidales (armónicos) teniendo en cuenta que su frecuencia corresponde a un múltiplo de la frecuencia fundamental, en nuestro caso es 60 Hz según la relación

$$v(t) = v_0 + \sum_{k=1}^{\infty} V_k \text{Sen} (\omega_k t + \phi_k) \quad (1.2)$$

Donde:

V_0 : valor medio de $v(t)$

$v(t)$: señal eléctrico de tensión

V_k : amplitud del armónico de orden k de $v(t)$

Es un problema de calidad que se incrementa, desviaciones no periódicas y transitorias de onda senoidal pura de tensiones o corrientes.

Las corrientes armónicas al circular por el sistema de potencia producen caídas de tensión armónica, que son capaces de distorsionar la onda de la tensión de suministro.

La forma de evaluar una tensión o una corriente distorsionada es a través del parámetro denominado Distorsión Armónica Total (THD), la distorsión armónica total de tensión (THD_v) corresponde a la siguiente expresión:

$$\text{THD}_v = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n V_h^2}}{V_1} \times (\%) \quad (1.3)$$

Donde:

THD_v: es la distorsión armónica total de tensión

V_h: es el valor eficaz del componente sinusoidal de frecuencia 60 Hz de la onda

V_h: es la suma de los cuadrados de las amplitudes armónicas de tensión.

V_i: es la amplitud de la tensión fundamental

h: es el orden armónico

Se aplica el mismo procedimiento de la expresión de la tensión para hallar la distorsión total de corriente (THD_i).

La distorsión armónica produce corrientes de valores significativos a la frecuencia de orden impar de la frecuencia fundamental, esto por uso de equipos de iluminación de alta presión, hornos de arco, etc.

La distorsión armónica afecta considerablemente al conductor de neutro de las instalaciones eléctricas.

La distorsión armónica total, determina el grado de distorsión de una señal periódica respecto a la senoidal y se definen en términos de su amplitud de los armónicos, se demuestra con las expresiones siguientes:

1.4.2 Efectos de los Armónicos

Incremento en el uso de las cargas no lineales principalmente, la incorporación de sistemas de transmisión de corriente continua (cd) y la proliferación de diversas fuentes de generación de armónicos esta causando un incremento de problemas de armónicos en los sistemas de potencia.

Estos efectos de distorsión se puede considerar en forma general en:

- Esfuerzos en los aislamientos por efectos causado por la tensión
- Esfuerzos térmicos por el flujo de corriente.

1.4.3 Origen de los armónicos de corriente

Al avance de la tecnología moderna se tienen que enfocar las causas que generan distorsiones armónicas en el sistema eléctrico de potencia, para lo cual es necesario conocer las secuencias del comportamiento de las tensiones o corrientes en este campo.

Las tensiones en la entrada de los sistemas de potencia pueden ser consideradas como sinusoides perfectas y equilibradas. En las tensiones existentes en la mayoría de los sistemas de transmisión presentan una distorsión inferior al 1%, no obstante, la distorsión de las formas de onda de tensión se incrementa a medida que se aproximan a las cargas finales del sistema.

Las formas de onda de la corriente en determinadas ocasiones pueden considerarse aleatorias, en la mayoría de los casos presentan una forma eminentemente periódica, lo que es posible su descomposición armónica mediante serie de Fourier, en el diseño convencional de los sistemas de potencia, se considera la existencia de formas de onda sinusoidales de frecuencia fundamental, donde la circulación de corrientes armónicas en dichos sistemas estaría contra las reglas de funcionamiento de los mismos; lo cual daría lugar a una serie de efectos que desembocan en la distorsión de la tensión indicada anteriormente.

La relación que existe entre los armónicos de tensión y de corriente, en el sistema de potencia simplificado son principalmente inductivos a frecuencia fundamental, despreciándose normalmente los efectos capacitivos de las líneas de distribución y su impedancia equivalente es conocida como impedancia de cortocircuito (Z_s). Cuando los armónicos de corriente generados por alguna carga ($L1$ y $L2$) circulan a través de esta impedancia, produciéndose una caída de tensión en la misma, y como resultado aparece distorsión en la tensión del punto de acoplamiento común con el resto de cargas del sistema.

El reconocimiento de esta circunstancia da lugar a la división de responsabilidades en el control de la distorsión armónica. El estándar IEEE 519-1992 [6], que establece una serie de recomendaciones y requisitos en el control de los armónicos en sistemas eléctricos de potencia, como:

- El control sobre la cantidad de armónicos de corriente inyectado en el sistema tendrá lugar en el punto final de consumo.
- Si se asume que la inyección de armónicos de corriente se encuentra dentro de sus límites razonables, el control sobre la distorsión de tensión será ejercido por la entidad

que tiene el control sobre la impedancia del sistema, la cual generalmente es la empresa suministradora o concesionaria.

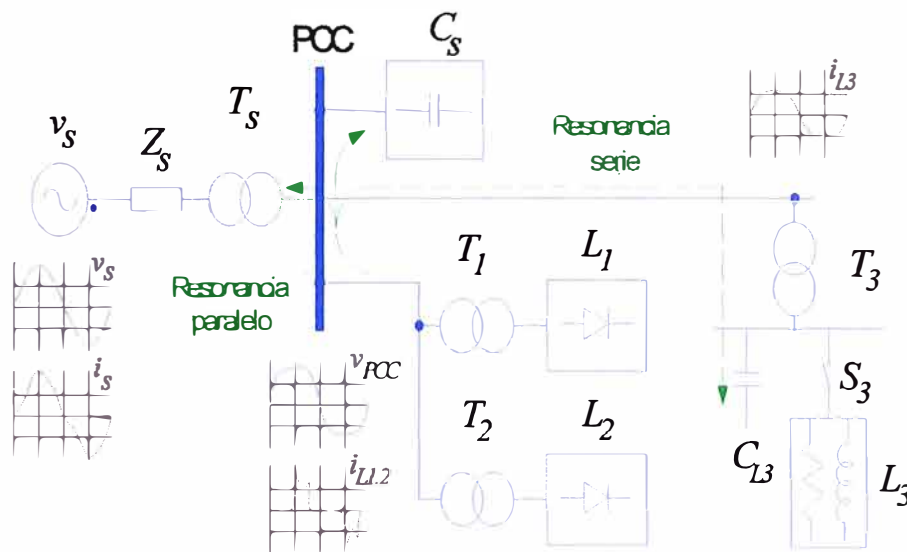


Figura 1.1: Distorsión de tensión por flujo de armónicos de corriente

Como se ve, las **corrientes armónicas** de la carga sean finalmente los responsables de la distorsión de la **tensión**, una carga individual no puede controlar dicha distorsión, que también depende de las corrientes solicitadas por el resto de la cargas y de la impedancia del sistema de potencia. Una misma carga provocara diferentes niveles de distorsión en la tensión en función de su punto de conexión dentro del sistema de potencia.

1.4.4 Efectos de los armónicos en los cables y conductores

Asimismo al circular la corriente a través de un conductor se produce calentamiento como resultado de las pérdidas por efecto de Joule, I^2R donde la R es la resistencia a corriente directa del cable y esta corriente esta dado por el producto de la densidad de corriente por el área transversal del conductor.

1.4.5 Efecto de los armónicos en los equipos de medición

Los equipos de medición o instrumentos son afectados por la presencia de voltajes y corrientes armónicos, sobre todo si ocurren resonancias que afectan la magnitud medida de dispositivos con disco de inducción, como los medidores de energía, son sensibles a componentes armónicas, pudiendo presentar errores positivos o negativos, esto por el tipo de medidor y del armónico en general, la distorsión debe ser elevada (mayor a 20%) para producir error significativo.

1.5 Niveles de los problemas de los armónicos

Los niveles de los armónicos en las empresas e instituciones ante distintos tipos de instalaciones eléctricas se producen en:

Fabricación de baterías de automóviles, maquinas–herramientas que incorporan variadores de velocidad, imprentas, vidrieras, textiles, etc.

1.5.1 Implementación de los procedimientos

En este caso se aplicara un procedimiento general con una breve descripción de la empresa y de la instalación (sistema de distribución, topología de cargas, potencias, etc.), como medición de niveles de distorsiones generales. Esto para saber si la empresa distribuidora y consumidora cumplen las normativas y no existan problemas que puedan haber armónicos. Esto indica que existen problemas y se aplican otros procedimientos particulares, para ello se distinguen tres ámbitos de aplicación según la caracterización de tipos de cargas no lineales a aplicar:

a. Instalaciones industriales

En este caso se hace una subdivisión dependiendo del tipo de cargas predominante, que definirá el espectro de frecuencias armónicas que aparecen, no presentaran la misma problemática una empresa que fabrica baterías de automóviles y otra que contenga variadores de velocidad de motores.

El efecto es la corrección del factor de potencia y problemas de posibles resonancias. Las soluciones serian la modificación de cargas (variadores de mayor número de pulsos motores diseñados para funcionar con variadores), modificación de la instalación (transformadores de aislamiento, desdoblamiento de líneas) y la utilización de filtros.

b. Instalaciones comerciales y de oficinas

En este tipo de instalaciones las cargas más importantes son de tipo monofásico. El espectro de armónicos de corriente esta formado principalmente por las frecuencias secuencia o alimentados por un transformador triángulo estrella con neutro accesible típico de baja tensión. Las soluciones típicas son el sobredimensionamiento de equipos y redistribución de cargas.

c. Instalaciones residenciales

Generalmente tiene cargas de tipo monofásico electrónicas del mismo tipo (puente de rectificación) siendo la potencia menor, pero complicado la medición de cada instalación por los tipos de equipos electrodomésticos que cuentan, las soluciones que se dan es localizar las cargas generadoras y su influencia sobre las instalaciones que realizan en los diferentes aspectos.

1.6 Dispositivos de electrónica de potencia

Los dispositivos de electrónica de potencia es una rama de ingeniería eléctrica que consigue adaptar y transformar la electricidad, con la finalidad de alimentar otros equipos, transportar energía, controlar el funcionamiento de maquinas eléctricas, es decir son dispositivos semiconductores, se pueden clasificar en tres grandes grupos, de acuerdo con su grado de controlabilidad [2]:

a. Dispositivos no controlados

Se encuentran los diodos, los estados de conducción o cierre (ON) y bloqueo o abertura (OFF) dependen del circuito de potencia. Estos dispositivos no dependen de ningún terminal de control externo.

b. Dispositivos semicontrolados

En este campo se encuentran dentro de la familia de los tiristores, los SCR (Silicon Controlled Rectifier) y los TRIAC (Triode Of. Alternating Current) se aplican una señal de control externa en uno de los terminales del dispositivo, comúnmente denominado puerta. Por otro lado su bloqueo (paso de ON a OFF) lo determina el propio circuito de potencia, se tiene control externo de la puesta en conducción, pero no así del bloqueo del dispositivo.

c. Dispositivos totalmente controlados

En este grupo se encuentra los transistores bipolares BJT (Bipolar Junction Transistor), los transistores de efecto de campo MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect), los transistores bipolares de puerta aislada IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) y los tiristores GTO (Gate Turn-Off Thyristor).

Dichos dispositivos tienen una variedad de usos en los diferentes campos de la electricidad y la electrónica, en este informe se aplicara el uso de los filtros.

Permiten el diseño de inversores que pueden actuar como fuentes de corriente (CSI-Current source invertir) o fuentes de tensión (VSI-Voltage Source Invertir) controlables. La inyección de contra armónicos en la red mediante estos sistemas electrónicos de potencia da lugar a lo que se conoce como filtros activos, siendo este dispositivo sumamente versátil, con un control adecuado el cual es posible conseguir la respuesta frecuencial del sistema de potencia casi ideal, obteniéndose además prestaciones adicionales como son el equilibrado de las fases o la compensación de potencia reactiva. Sin embargo; un filtro activo es un dispositivo relativamente complejo y costoso cuando trabaja en sistemas de gran potencia, para lo cual existe otro tipo de sistemas, conocidos como filtros híbridos en los que los inversores de tensión y corriente trabajan en

colaboración con los filtros pasivos, mejorando aun la respuesta frecuencial de estos últimos

1.7 Efectos de los armónicos en las industrias

Los efectos de los armónicos que se producen en las industrias por el uso de motores están relacionados, es decir que el factor de potencia se define en la forma convencional como el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente fundamental, pero con cargas distorsionadas la definición cambia. Por otro lado las potencias aparente y reactiva se modifican en gran medida por la presencia de armónicas.

1.7.1 Efectos sobre la potencia

La potencia activa y reactiva tiene su validez físicamente confirmada para sistemas, funcionando permanentemente y sin distorsión, en el caso monofásico. En el sistema trifásico, el mismo debe ser balanceado. [3]

La potencia activa, el valor medio de la potencia instantánea, definen el total de la energía que esta siendo consumida o entregada por la carga en cada frecuencia.

1.7.2 Factor de potencia verdadero

Las armónicas en el factor de potencia, es necesario considerar el verdadero factor de potencia (PF_{rms}) que se define como:

$$S = PF_{rms} \quad (1.4)$$

En situaciones sinusoidales se reduce al familiar factor de potencia de desplazamiento (fundamental). [4]

1.7.3 Efectos de la distorsión armónica en equipos

Las armónicas pueden ser toleradas en un sistema de alimentación, depende de la susceptibilidad de la carga los equipos menos sensibles generalmente son los de calentamiento, para los cuales la forma de onda no es relevante, los más sensibles son aquellos que en su proyecto asumen la existencia de una alimentación senoidal, como por ejemplo; equipamiento de comunicación y procesamiento de datos, en cargas de baja susceptibilidad, la presencia de armónicos puede ser perjudicial, produciría mayores calentamientos y esfuerzos en los aislantes [5].

a. Motores de inducción

El mayor efecto de las armónicas en maquinas rotativas es el aumento del calentamiento debido al aumento de las perdidas en el hierro y en el cobre. Se afecta también su eficiencia y el torque disponible.

b. Transformadores

Armónicos de tensión aumentan las pérdidas en el hierro, y ambos con el corriente elevan las pérdidas en el cobre, la elevación de las perdidas del cobre se debe principalmente al efecto pelicular, que implica su reducción del área efectiva conductora a medida que se eleva la frecuencia de la corriente.[7]

c. Conductores eléctricos

Por la presencia de los armónicos en la corriente de carga, los cables son sometidos a sobrecalentamientos por desigual distribución de corrientes debido a los efectos peliculares y proximidad que es función de la frecuencia. Debido a ello se produce una diferencia entre los valores de resistencia en corriente alterna y corriente continua, el aumento de la corriente eficaz como la resistencia de la red es debido a la presencia de corrientes de frecuencias superiores a la fundamental este conlleva el aumento de la pérdida por efecto Joule I^2R . [6]

En caso de conductores largos y los sistemas conectados tienen sus resonancias excitadas por los componentes armónicos, pueden aparecer elevadas sobre tensiones a lo largo de la línea, pudiendo dañar el conductor.

En la figura 1.2 mostrada se ve la forma de las curvas de reducción de capacidad de carga en función del contenido de armónica, donde el efecto es mayor a medida que aumenta la sección del conductor.

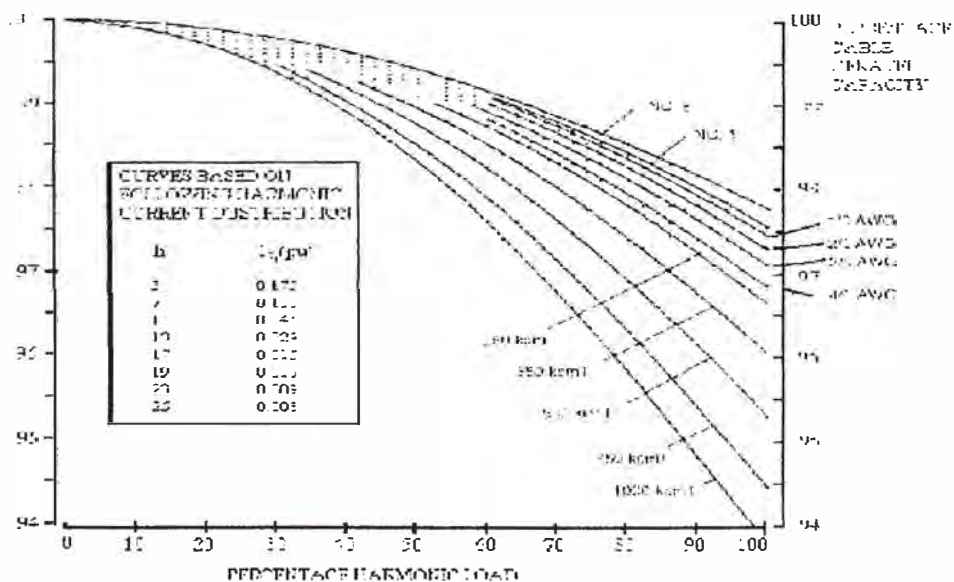


Figura 1.2: Curva de reducción de la capacidad de carga por contenido armónica

d. Banco de capacitores

En este caso puede ser por la ocurrencia de resonancias (excitadas por las armónicas) pudiendo producir niveles excesivos de corriente o tensión además de esto la reactancia capacitiva disminuye con la frecuencia, ya que se tiene un aumento de corrientes relativas a los armónicos presentes en la tensión.

Las corrientes de alta frecuencia, encontrarán un camino menor de impedancia por los capacitores, elevarán sus pérdidas ohmicas por ende el calentamiento del dispositivo acortando la vida útil del mismo [6].

En el ejemplo de la figura 1.3 se muestra la corrección de factor de potencia de una carga y que lleva a la resonancia en el sistema. Por otro lado en la figura 1.4 son mostrados los espectros relativos a la tensión o corrientes de la fuente en los diferentes circuitos.

En el circuito (a) es alimentada una carga de tipo RL, que representa un bajo factor de potencia. En el circuito (b) es insertado un capacitor que corrige el factor de potencia.

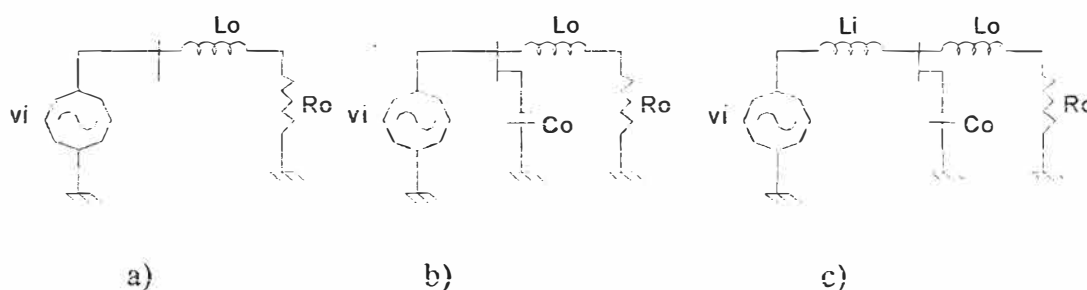


Figura 1.3: Circuitos equivalentes para el análisis de resonancia

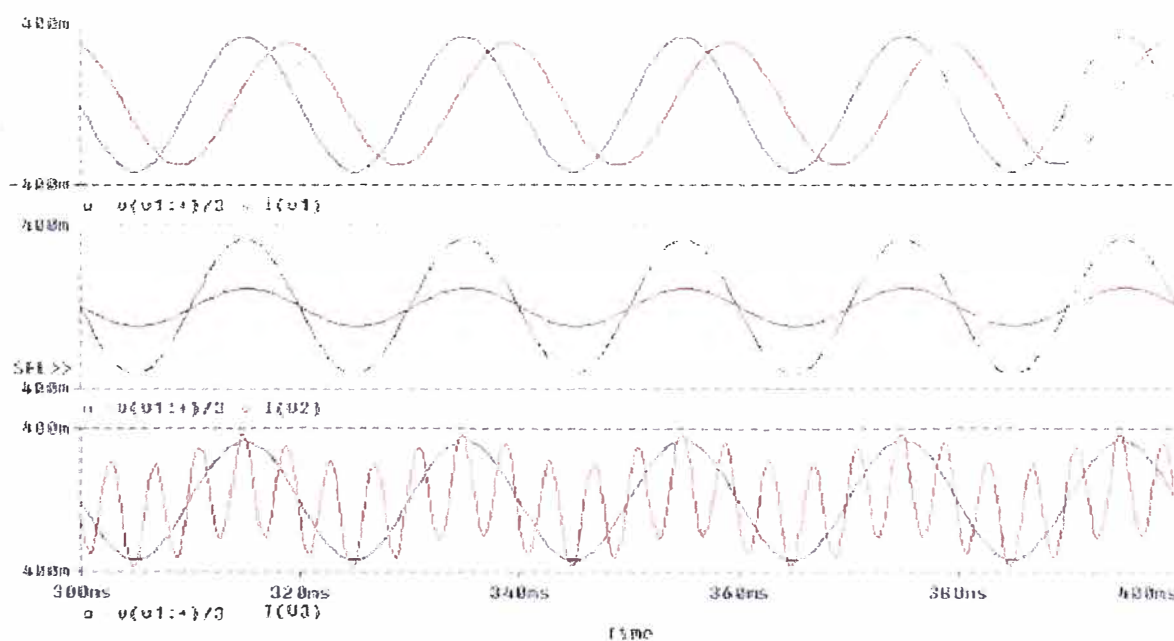


Figura 1.4: Formas de onda relativa a los circuitos de la figura 1.3

(a) Superior (b) intermediario (c) inferior

En general las tensiones o corrientes armónicas son aplicables en equipos; sobre todo en maquinas asíncronas, en las industrias provocan la circulación de corrientes de frecuencias superiores a 60 Hz en el rotor. Estas corrientes provocan pérdidas suplementarias proporcionales a U_h/h .

1.8 Ubicación de las distorsiones armónicas

Los equipos generadores de distorsiones armónicas de corriente o tensión se encuentran presentes en todas las instalaciones industriales, comerciales y residenciales. Por lo que dichos armónicos están provocados por las cargas no lineales.

La carga no lineal es considerada cuando la intensidad que circula por la red no tiene la misma forma sinusoidal que la tensión que la alimenta.

Perturbaciones generadas por cargas no lineales de tensión y corriente armónica son provocadas por el flujo de intensidades armónicas en la instalación.

Los armónicos de tensión son provocados por el flujo de intensidades armónicas a través de las impedancias de los circuitos de alimentación.

La impedancia de un conductor aumenta en función de la frecuencia de la intensidad que circula por el.

La norma IEEE 519 1992, relativa a prácticas recomendadas y requerimientos para el control de armónicas en sistemas eléctricos de potencia agrupa a las fuentes emisoras de armónicas en tres categorías diferentes:

- Dispositivos electrónicos de potencia
- Dispositivos productores de arcos eléctricos
- Dispositivos ferromagnéticos

Se puede indicar algunos de los equipos y procesos que se ubican en estas categorías:

- Motores de corriente directa accionados por tiristores
- Inversores de frecuencia
- Fuentes ininterrumpidas UPS y computadoras
- Equipo electrónico
- Hornos de arco
- Equipos de soldadura
- Transformadores sobreexcitados

Es importante tener presente las recomendaciones sobre las fuentes emisoras de armónicos como también los equipos que intervienen en el proceso.

CAPITULO II

PROBLEMÁTICA DE LOS ARMONICOS

2.1 Contaminación armónica por cargas no-lineales

Las intensidades y tensiones de armónicos se crean a partir de cargas no lineales conectadas al sistema de distribución de potencia. La distorsión por armónicos es una forma de contaminación en la planta eléctrica que puede provocar problemas, si la suma de las intensidades de armónicos supera ciertos límites.

Si el incremento de las cargas no lineales en los sistemas hace que cada vez sea más necesaria la caracterización de las instalaciones desde el punto de vista de generación de armónicos o sea establecer los armónicos típicos, niveles de distorsión, rangos de variación de las cargas perturbadoras, etc., teniendo en cuenta las pérdidas del sistema y la corrección del factor de potencia.

2.2 Los convertidores de frecuencia y la contaminación armónica

Los convertidores de frecuencia (VDF) han sido usados hace muchos años en diversas aplicaciones industriales, debido principalmente al control preciso de la velocidad que estos proporcionan a los motores eléctricos de corriente alterna, son piezas claves dentro del esquema de control de procesos por diversas características adicionales al simple hecho de variar la velocidad.

Son fuentes generadoras de perturbaciones eléctricas, como lo es; la contaminación armónica de corrientes que generan problemas tanto en el sistema de suministro de energía y dentro de la instalación del sistema se debe eliminar o al menos atenuarlos, es una necesidad cada vez prioritario en la industria moderna.

2.2.1 Convertidores estáticos trifásicos

Los puentes rectificadores y en general los convertidores estáticos (diodos y tiristores) son generadores de corrientes armónicas, como el puente Graetz, la corriente continua consumida hace aparecer una corriente no sinusoidal que cuando la carga es muy activa

tienen forma escalonada ver figura 2.1 o que tiene unos picos cuando al puente de diodo le sigue un condensador, como se ve en la figura 2.2.

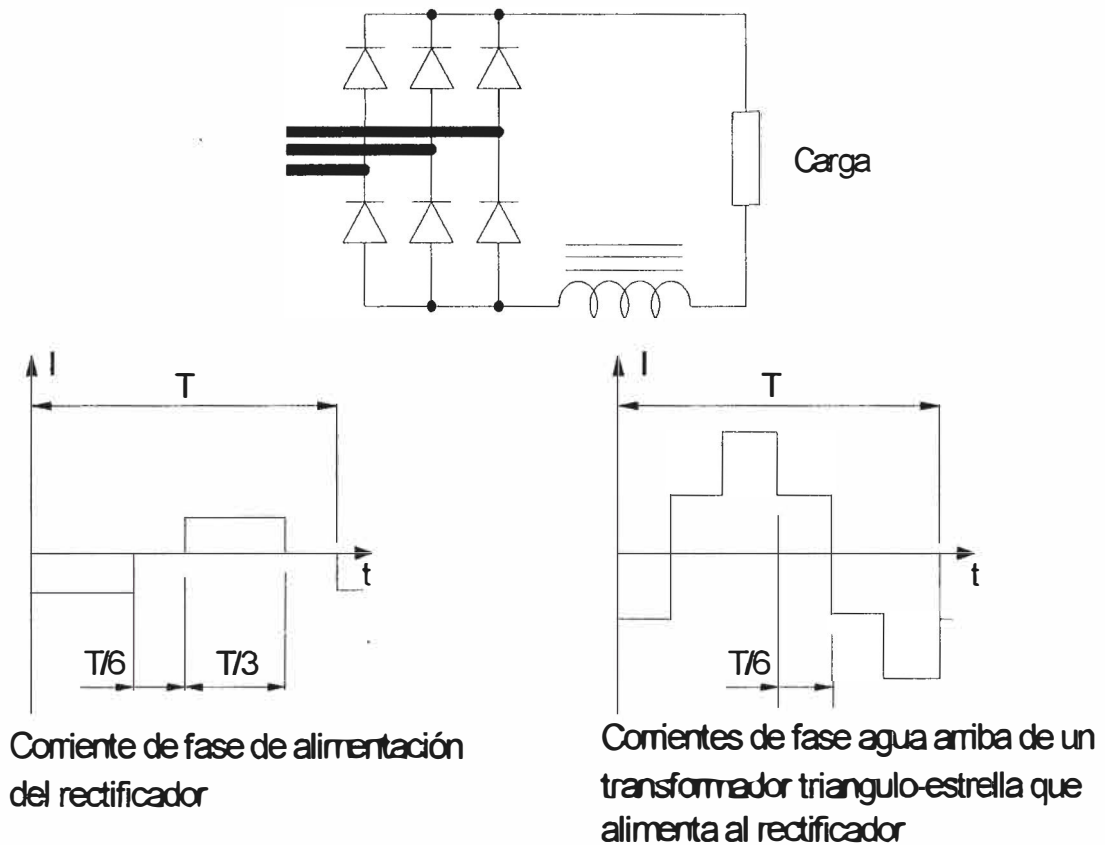


Figura 2.1: Rectificador trifásico con carga inductiva

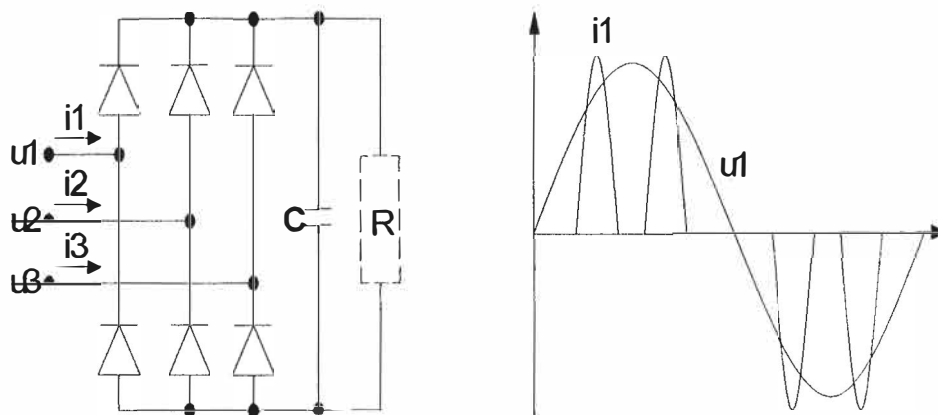


Figura 2.2: Rectificador trifásico con carga capacitiva

2.3 Teoría de la serie de Fourier

Una serie de Fourier es una serie infinita que converge puntualmente a una función continua y periódica, las series de Fourier constituyen la herramienta matemática básica del **análisis de Fourier** empleado para analizar funciones periódicas a través de la

descomposición de dicha función en una suma infinitesimal de funciones senoidales mucho mas simples (como combinación de senos y cosenos con frecuencias enteras), a continuación se muestra la formula o serie de Fourier.

$\omega = 2\pi/T$ donde T es el período de las oscilaciones, por lo tanto una función $f(t)$ es periódica, si se verifica:

$$f(t) = F(t \pm kT) \quad (2.1)$$

Para $k = 0,1,2$ y T el período de la señal y además, satisface las condiciones de Dirichlet.

Si t_0 , la integral $\int_{t_0}^{t_0+T} |f(t)dt|$ existe, la señal se puede representar como:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \text{Cos } n\omega t + b_n \text{Sen } n\omega t) \quad (2.2)$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \text{Cos } n\omega t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \text{Sen } n\omega t dt$$

Donde:

ω_0 : frecuencia angular

a_0, a_n, b_n : coeficiente de Fourier

n : Orden armónico

T: periodo de señal

Representación en forma exponencial:

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} C_n e^{in\omega t} \quad (2.3)$$

$$C_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-in\omega t} dt \quad (2.4)$$

La ecuación (2.4) puede simplificarse utilizando o usando la descomposición de Fourier, las señales eléctricas de tensión y de corriente se pueden describir como:

$$v(t) = v_o + \sum_{k=1}^n \sqrt{2V_k} \text{Cos}(k\omega t + \theta_{v_k}) \quad (2.5)$$

$$i(t) = i_o + \sum_{k=1}^n \sqrt{2I_k} \text{Cos}(k\omega t + \theta_{i_k}) \quad (2.6)$$

V_o : valor medio de la señal de tensión (dc)

i_o : valor medio de la señal de corriente (dc)

V_k : Valor eficaz de la componente k de la señal de tensión

I_k : valor eficaz de la componente k de la señal de corriente

θ_{v_k} : ángulo de desfase de la k, componente de tensión

θ_{i_k} : ángulo de desfase de la k componente de corriente

De la ecuación (2.5) se puede observar que cada una de los componentes de armónicas esta caracterizado por tres parámetros como: frecuencia, amplitud y ángulo de fase.

Sus aplicaciones son:

- Generación de formas de onda de corriente o tensión eléctrica por medio de la superposición de senoides generados por osciladores electrónicos de amplitud variable cuyas frecuencias ya están determinadas.
- Análisis en el comportamiento armónico de una señal
- Reforzamiento de señales
- Estudio de las respuestas en el tiempo de una variable circuital eléctrica donde la señal de entrada no es senoidal o cosenoidal, mediante el uso de transformadores de Laplace y/o Solución en régimen permanente senoidal en el dominio de la frecuencia.

2.4 Frecuencia fundamental y armónica

La frecuencia fundamental son parámetros de medida de armónicos; es decir de la onda periódica original.

En el caso de tensiones y corrientes de red, esta frecuencia es de 50 ó 60Hz. El componente fundamental de tensión o de la corriente senoidal se desarrollo con la serie de Fourier de frecuencia igual a la onda periódica original ($n=1$). Esta componente suele expresarse en valor eficaz.

2.5 Armónicos de tensión y corriente

La existencia de cargas no lineales implica la aparición de tensiones y corrientes armónicas que son perturbaciones en el sistema eléctrico, las cargas que implican la aparición de armónicos de corriente, como los rectificadores con alta inductancia en el lado de corriente

continua (dc) son denominados cargas tipo fuente de corriente y al aparecer las armónicas de tensión, los rectificadores con una rama de (dc) altamente capacitiva, las cargas se denominan tipo fuente de tensión.

De acuerdo la comparativa realizada en este trabajo se centra en propuestas de acondicionadores de conexión paralela, usadas para la compensación carga tipo fuente de corriente. [15]

Un filtro pasivo LC sintonizada a los armónicos de mayor magnitud de la carga (a), un filtro activo de conexión paralela (b) y por último el filtro pasivo en serie con un activo (c). Los armónicos de tensión o corriente es necesario disponer de una catalogación mas detallada de dichas perturbaciones para poder clasificar sus medidas y describir cada fenómeno electromagnético que provoca problemas en la calidad de potencia, se puede clasificar como sigue: [16] [17]

2.5.1 Transitorios

Son variaciones de muy corta duración en las tensiones o corrientes del sistema, y pueden ser clasificados en dos categorías:

a. Impulsionales

Correspondientes a respuestas sobre amortiguadas que duran desde algunas decenas de nanosegundos hasta algunos milisegundos. Un ejemplo, una corriente impulsional provocado por un rayo.

b. Oscilantes

Correspondientes a respuestas subamortiguadas que duran desde algunos microsegundos hasta algunas decenas de milisegundos y cuyas frecuencias abarcan desde algunos centenares de hertzios hasta algunos megahertzios. Ejemplo típico, son las oscilaciones transitorias de tensión y corriente que aparecen en la carga inicial de bancos de condensadores.

2.5.2 Variación de corta duración.

Están ligadas con variaciones de corta duración en la tensión, y son causados por fallas en las líneas, por las elevadas corrientes de energización de grandes cargas, o por fallas en las conexiones del sistema, se clasifican según su duración:

a. Interrupciones

Consisten en descensos de la tensión por debajo de un 10% de su valor nominal, con una duración que no excede el minuto, a estas perturbaciones se conoce como “**microcortes**”.

b. Huecos.

Son descensos de la tensión entre un 90% y un 10% de su valor nominal, con una duración que abarca desde medio ciclo hasta un minuto, de acuerdo a la normativa se conoce como “sags”

c. Sobre tensiones momentáneas

Se trata de subidas de la tensión entre un 110% y un 180% de su valor nominal, con una duración que abarca desde medio ciclo hasta un minuto, en la literatura anglosajona, la sobre tensión momentánea es conocida como “swell” estas sobre tensiones momentáneas son usualmente asociadas a fallas en el sistema, aunque no son tan frecuentes como los huecos. Un ejemplo de sobre tensión es cortocircuito en las fases monofásicas a tierra..

2.5.3 Variaciones de larga duración

Están ligadas con variación en la tensión que duran más de un minuto, generalmente estas variaciones no son debidas a fallas en las líneas, sino que suelen estar originadas por las variaciones de carga y por operaciones de reconexión en el sistema.

a. Sobretensiones

Consisten en subidas de la tensión mayor a 110% de su valor nominal durante más de un minuto. Estas sobretensiones se producen por la desconexión de grandes cargas y/o fallos en la regulación de la tensión

b. Subtensiones

Son bajadas de la tensión menor a 90% de su valor nominal durante mas de un minuto, esto se produce en la conexión de grandes cargas, o en la energización de bancos de condensadores.

c. Interrupciones mantenidas

Son cortos absolutos de la alimentación durante periodos de tiempo superiores a un minuto. Este tipo de perturbaciones suelen producir cuando la restauración del sistema requiere la intervención del ser humano (para su reparación)

2.5.4 Desequilibrio de tensión

Esta ligado a la aparición de componentes de secuencia negativa y/o homopolar de frecuencia fundamental en las tensiones de red. Estas perturbaciones se producen por la conexión de cargas monofásicas en sistemas trifásicos, o a la desconexión de una fase en un banco de condensadores.

2.5.5 Distorsión de las formas de onda

Se da cuando los efectos de los armónicos dan lugar que la forma de onda de tensión o corriente de régimen permanente difiera de la onda sinusoidal; existen cinco tipos

elementales de distorsión de la forma de onda, que son:

a. Armónicos

Son tensiones o corrientes cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental, la combinación de los armónicos y de la senoide de frecuencia fundamental da lugar a formas de onda distorsionadas.

b. Interarmónicos

Son componentes armónicos de la tensión o corriente, cuya frecuencia no es un múltiplo entero de la fundamental, los inter armónicos pueden presentarse a frecuencias discretas, o distribuidos a lo largo de una determinada banda de espectro. Los convertidores estáticos de frecuencia son las principales fuentes generadoras de inter armónicos dados por los hornos de inducción y los dispositivos de arco eléctrico.

c. Microcortes

Son huecos estrechos, que aparecen periódicamente en la forma de onda de la tensión como consecuencia de la comunicación de la corriente entre las fases de los convertidores estáticos conectados en la red. Dicho fenómeno se conoce “**notch**”. La duración de estos notches suele ser de algunas centenas de microsegundos, que son provocados por la conmutación de los rectificadores controlados y no controlados.

d. Componentes de continua

Consisten en la aparición de componente de continuos en las formas de onda de tensión o corriente, estas componentes continuas pueden ser originadas por perturbaciones geomagnéticas o asimetrías en los convertidores estáticos de potencia.

e. Ruido de alta frecuencia

Son señales indeseables con un espectro armónico disperso, cuya frecuencia suele ser inferior a 200kHz estas señales se encuentran superpuestas a las formas de onda de tensión o corriente originadas por sistemas electrónicos de potencia.

2.5.6 Fluctuaciones de la tensión

Son variaciones asimétricas de la envolvente de la tensión, las cuales pueden ser continuas o aleatorias, las cargas que provocan variaciones continuas y rápidas en la corriente pueden causar fluctuaciones en la tensión, conocidos como “**flicker de tensión**”, que puede ser motivada por perturbaciones introducidas durante la generación, la transmisión o la distribución de la energía, esto por uso de grandes cargas fluctuantes.

2.5.7 Variaciones de frecuencia.

Consisten en desviaciones de la frecuencia fundamental del sistema de potencia, respecto de su valor nominal, dichas variaciones de frecuencia son cambios bruscos entre la producción y la carga, y son los más importantes en sistemas débiles o aislados.

2.6 Factor K para transformadores de potencia activa, reactiva y aparente

El factor k de reducción de potencia de transformadores se produce por las pérdidas en el hierro, en caso de existir armónicos producidos por las cargas no lineales crecen muy significativamente esto hace que deben sobredimensionarse los kVA nominales de forma notable; conocido como factor k que viene dado por:

$$K = \sum_{h=1}^{h=h_{\max}} I_h^2 h^2 \dots \quad (2.7)$$

Donde:

I_h : es el valor efectivo de la corriente armónica h, en p.u. del valor efectivo de la corriente nominal

El factor indica la capacidad de un transformador para alimentar cargas no lineales sin sobrecarga [12].

De los análisis de los armónicos realizados, el factor k cuyo valor es siempre superior a la unidad y permite calcular cual es la carga admisible en un transformador en presencia de armónicos.

Las aplicaciones de la fórmula y cálculos se realizan para proteger la vida útil de los motores.

Los transformadores con factor k presentan algunas especialidades constructivas respecto a los convencionales.

- Sobre dimensionamiento de los conductores primarios para soportar las corrientes de circulación reflejadas de los armónicos triples o de orden cero.
- Las secciones del neutro y sus conexiones se dimensionan para una corriente doble de la línea.
- El núcleo esta diseñado para una menor densidad de flujo. Se emplea menor cantidad de material, pero de mejor calidad, por ejemplo acero magnético MB.
- Las perdidas por corrientes de Foucault en los conductores de los transformadores se pueden reducir empleando varios conductores paralelos aislados entre si.

- Presentan una capacidad térmica especial.

2.7 Fluctuaciones, transitorias y corriente de arranque

El parpadeo es la impresión de inestabilidad de la sensación visual producido por un efecto luminoso cuya luminancia o distribución espectral fluctúa con el tiempo. Generalmente se aplica a la variación cíclica de la intensidad de la luz de las lámparas producida por la fluctuación de la tensión de alimentación.

Este parpadeo es una forma de fluctuación de la tensión que puede ser motivada por perturbaciones introducidas durante la generación, la transmisión o la distribución de la energía que generalmente son provocadas por uso de grandes cargas fluctuantes es decir cargas con una demanda de potencia activa y reactiva que fluctúa rápidamente.

Algunos tipos de carga absorben grandes corrientes al momento de su conexión, causando muchas veces caída de tensión de la instalación. Esto podría ser por efecto de hornos, soldadores de arco eléctrico, etc.

Las cargas transitorias donde los cambios rápidos de carga y el control estándar de condensadores son incompatibles.

La compensación de potencia reactiva requerida para la corrección de factor de potencia se realiza normalmente por un controlador dedicado, el cual mide el factor de potencia del sistema ya que lo compara a un ajuste predefinido y energiza condensadores vía contactores electromecánicos.

El sistema de compensación reactiva en tiempo real (RTRC) provee la corrección instantánea del factor de potencia para redes industriales que contienen cargas altamente transitorias o inestables, así como también compensa la corriente de arranque de grandes motores.

2.8 Normatividad.

Normas para los límites de los armónicos internacionales más comunes se describen no solo al nivel absoluto de armónicos producido por una fuente individual, sino también a su magnitud con respecto a la red de abastecimiento.

Esta norma tiene sus límites por una gama de recomendaciones prácticas que sirven como guía tanto a consumidores como a distribuidores de energía eléctrica, donde existen problemas a causa de inyección excesiva de corriente armónico o distorsión de tensión, esto es obligación de ambos de resolver los problemas.[6]

Nuestro país no tiene una reglamentación específica para afrontar las distorsiones armónicas para diferentes niveles de tensión; la norma vigente data del 11-10-97 y es el

D.S. N° 020-97 EM (NORMA TECNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELECTRICOS).

La norma **IEEE 519** es vigente que limita la cantidad de distorsión armónica inyectada a la red general bajo dos casos:

- El límite que debe tener sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar a la red de distribución eléctrica
- El nivel de voltaje armónico que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor.

Limitar la inyección de armónicos de clientes individuales, con el fin de que no provoquen niveles de distorsión de tensión inaceptables, para características de sistemas normales y limitar la distorsión por armónicos global de la tensión de sistema suministrada por la utilidad.

La intensidad de carga de demanda total es la suma de las cargas lineales y no lineales. Dentro de una planta industrial, el punto de acoplamiento común (PCC) se define claramente como punto entre la carga no lineal y otras cargas. De una manera general el objetivo de esta norma es limitar la inyección de corrientes armónicas para que la tensión en el PCC no presente ningún armónico individual con una amplitud superior a un 3% de la componente fundamental, y que globalmente el THD de tensión no sea superior al 5% en sistemas en los que no existe una resonancia paralelo a una frecuencia específica.

2.8.1 Distorsión armónica de tensión

El suministrador es responsable de mantener la calidad del voltaje en el sistema global, especificándose los límites para diferentes niveles de tensión.

La distorsión armónica total THD que se utiliza es diferente a la convencional donde se expresa la distorsión en función al voltaje nominal que es un valor constante para cada usuario estableciéndose así; una base fija de evaluación a lo largo del tiempo.

El THDv es el indicador de distorsión armónica total de tensión, respecto de la onda estándar en porcentaje dichos límites en la norma IEEE 519 se muestra en la tabla 2.1.

IEEE 519

Tabla 2.1: IEEE 519 Límites en la Distorsión de Tensión

Límites de Distorsión Armónica en Tensión en % de la tensión nominal		
Nivel de tensión en la acometida (V_n)	Distorsión armónica individual	Distorsión armónica total THDV _n
$V_n < 69\text{kV}$	3.00%	5.00%
$69\text{kV} < V_n < 161\text{kV}$	1.50%	2.50%
$V_n > 161\text{kV}$	1.00%	1.50%

Los límites disminuyen cuando la tensión aumenta, al igual que para los límites de la corriente.

La generación de armónicos pares se restringe más debido a que los resultados de corriente continua (dc) pueden ocasionar saturación en motores y transformadores, los armónicos pares individuales se limitan a un 25% de los límites armónicos impares de igual forma pasa con la corriente.

2.8.2 Distorsión armónica de corriente

De la distorsión armónica de corriente, su complemento es la distorsión armónica de tensión. Como la distorsión armónica de tensión es principalmente debida a la corriente de cargas no sinusoidales la distorsión armónica de tensión y corriente están muy relacionadas, la distorsión armónica de corriente requiere sobredimensionar una serie de componentes como transformadores y cables, cuando las impedancias en serie aumentan con la frecuencia una corriente distorsionada puede causar más pérdidas que una corriente sinusoidal del mismo valor rms.

El espectro armónico de corriente contiene principalmente 5°, 7°, 11° y 13° componente armónico. Las ondas de alta frecuencia son debidas al cambio de frecuencia en los inversores DC/AC.

Los límites en la distorsión armónica de corriente, el límite primario para los clientes individuales, es la cantidad de corriente armónica que ellos pueden inyectar en la red de distribución, ya que los límites de corriente se basan en el tamaño del consumidor con respecto al sistema de distribución es decir los clientes mas grandes se restringen más que los clientes pequeños.

El tamaño relativo de la carga con respecto a la fuente se define como la relación de cortocircuito (SCR), al punto de acople común (PCC) que es donde la carga del consumidor se conecta con otras cargas en el sistema de potencia el tamaño del consumidor es definido por la corriente total de frecuencia fundamental en la carga que incluye todas las cargas lineales y no lineales, el tamaño del sistema de abastecimiento es definido por el nivel de la corriente de cortocircuito, I_{sc} , al PCC, estas dos corrientes definen el SCR y el orden de la armónica.

$$SCR = \frac{\text{Potencia de cortocircuito MVA}}{\text{Carga MVA}} = \frac{I_{sc}}{I_1} \quad (2.8)$$

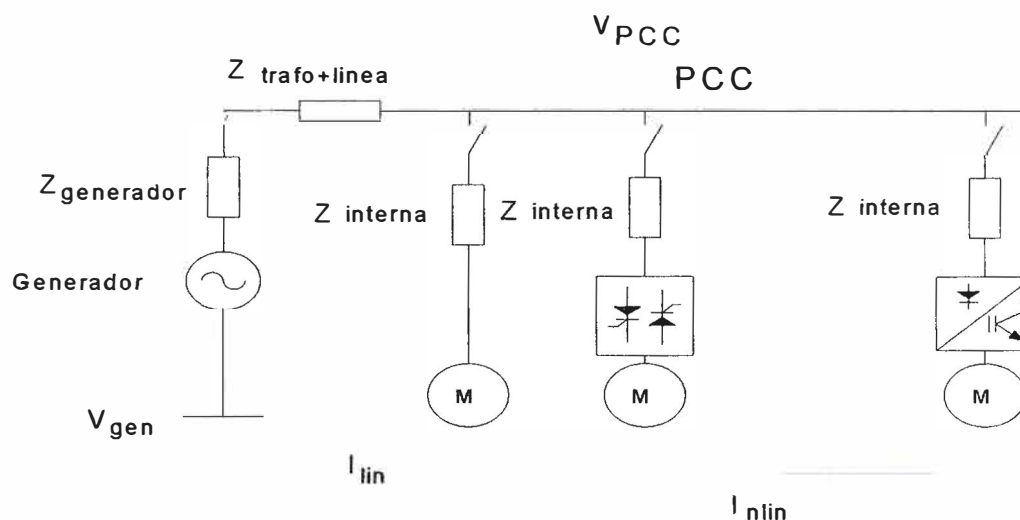


Figura 2.3: Armónicos de corriente y tensión en el PCC,

En la tabla 2.2 corresponde a condiciones con duración superior a una hora, para periodos más cortos el límite aumenta un 50%.

Limites de corriente armónica para carga no lineal en el punto común de acoplamiento con otras cargas, para voltajes entre 120 – 69,000 Voltios

Tabla 2.2: IEEE 519 Límites en la distorsión de la Corriente

Isc/II	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Las armónicas pares se limitan al 25% de los límites de las armónicas impares mostradas anteriormente

*Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de Isc/II que presente

Donde Isc = corriente máxima de cortocircuito en el PCC
 II = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el PCC
 TDD = Distorsión Total de la Demanda en % de la demanda máxima.

2.8.3 Distorsión total de demanda

Expresa la distorsión de corriente en relación a la demanda de corriente de la carga, de acuerdo a la fórmula (2.9) esta en función de la máxima corriente y la magnitud de la armónica individual.

$$\text{TDD (\%)} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \quad (2.9)$$

I_h: magnitud de la armónica individual

I_L: demanda máxima de la corriente fundamental de la carga

h: orden armónico impar

Donde I_h es la máxima corriente de carga (15 a 30 minutos por periodo de demanda), a la frecuencia fundamental en el punto común de acople (PCC), calculado como el corriente promedio de la máxima demanda durante los doce meses previos, la distorsión total esta en términos de la distorsión total de demanda (TDD) en vez del termino mas común THD. Dicho concepto de TDD es relevante para el estándar IEEE 519 1992.

Las CEI y el CENELEC han establecido normas que limitan perturbaciones de baja frecuencia en redes industriales y domesticas como las normas IEC 61000 y EN 61000

Perturbaciones electromagnéticas y eléctricas que pueden afectar las partes eléctricos de un suministro (tensión y/o corriente) y ocasionar el mal funcionamiento o daño de equipos eléctricos.

2.9 Sistema puesta a tierra

En este campo de puesta a tierra el sistema eléctrico se tiene que aplicar de acuerdo al CNE de utilización tomo V, para proteger la vida del ser humano, los animales y los equipos eléctricos en toda su magnitud, de ahí la importancia la puesta a tierra en las industrias, comercio y residencial, que debe garantizar la seguridad contra tensiones y corrientes que son peligrosos para el hombre por contactos fortuitos que puede suceder.

La puesta a tierra es una de las medidas de seguridad que suele estar acompañada de otras medidas (relés, diferenciales, etc.) que garanticen un alto nivel de seguridad en las instalaciones eléctricas, basada en que la propiedad de que las cargas eléctricas (electrones) siempre intentarán alcanzar valores energéticos mínimos para estar en equilibrio.

La tierra es el punto de potencial cero masa o energía mínima que mejor se adapta a los requisitos de las instalaciones eléctricas, siendo utilizada como tensión de referencia o tensión neutra.

Los valores de la resistividad del terreno no son uniformes o igual varían de acuerdo a la situación del terreno que muchas veces varían de acuerdo el cambio climático por estación.

Los materiales a conectar a una puesta a tierra serán las partes metálicas normalmente sin tensión, es decir con tensión resultaría del todo negativa, ya que las corrientes fluirían hacia tierra directamente (fuga a tierras) sin producir el trabajo al que están encomendadas.

Los principales motivos por los que se realiza una correcta puesta a tierra se sintetiza en:

- Limitar las tensiones de las partes metálicas de los equipos o máquinas a valores no peligrosos para las personas.
- Asegurar en caso de avería del material utilizado la parte de la red averiada quede separada de las fuentes de alimentación, eliminando los riesgos propios de la avería.
- Impedir la acumulación de cargas electrostáticas o inducidas en los equipos, máquinas o elementos metálicos que se hallen en zonas con riesgo de explosión.
- Constituye un sistema de protección contra incendios, al limitar en tiempo y valor las corrientes de fuga.

La puesta a tierra actúa como único elemento protector en los siguientes casos:

- Contra las descargas atmosféricas o electrostáticas
- En redes con neutro aislado, como elemento de unión de las diferentes masas
- Como unión equipotencial

a. Definición de puesta a tierra

La definición que realiza el reglamento eléctrico de baja tensión (REBT) sobre puesta a tierra es: “la denominación puesta a tierra comprende toda la ligazón metálica directa, sin fusible ni protección alguna de sección suficiente entre determinados elementos o partes de una instalación y un electrodo ó grupo de electrodos enterrados en el suelo; con objetivo de conseguir que en el conjunto de instalaciones, edificios y superficie próxima del terreno no existan diferencias de potencial peligrosas y que al mismo tiempo permita el paso a tierra de las corrientes de falta o de las descargas de origen atmosférico”.

Este sistema de protección se basa en impedir que se produzcan tensiones o diferencias de potencial superiores a los 24 V mediante la colocación de conductores paralelos a los conductores de fase, capaces de enviar a tierra cualquier corriente de fuga, de derivación, o las debidas a descargas atmosféricas. En el sistema a tierra las normas nacionales e internacionales establecen niveles de resistencia de puesta a tierra para cada tipo de instalación cuyos valores fluctúan de menor de 1 ohmio hasta 25 ohmios.

b. Circulación de corriente por tierra

La circulación de corriente por tierra se produce cuando el conductor de tierra se conecta a puntos de tierra que no tienen el mismo potencial, esto causa muchos problemas en la red eléctrica y por ende la calidad de energía deja mucho que desear.

c. Finalidad de puesta a tierra

En una puesta a tierra la conexión entre el electrodo desnudo en contacto directo con el suelo permiten la conducción y dispersión de las corrientes eléctricas para brindar seguridad eléctrica y asegurar el correcto funcionamiento de los aparatos conectados al circuito eléctrico y tiene dos finalidades importantes:

- Evacuan y dispersan las corrientes eléctricas con mínima resistencia.
- Proveen a las masas eléctricas el potencial de referencia cero, debido a que la tierra se comporta como un conductor infinito de carga, que hace que su potencial eléctrico sea cero ($V=0$).

El objetivo principal de puesta a tierra en conductores eléctricos, materiales y partes de equipo que no deben transportar corrientes eléctricas indeseables en forma permanente son:

- Conducir a tierra todas las corrientes de fuga producidas por una falla de aislamiento que haya energizado las carcasas de los equipos eléctricos.
- Evitar que las carcasas metálicas de los equipos eléctricos aparezcan tensiones que resulten peligrosas para la vida humana.
- Permitir que la protección del circuito eléctrico (disyuntor magnético térmico), despeje la falla, en un tiempo no superior a 5 segundos.
- Limitar sobre tensiones debidos a descargas atmosféricas y fenómenos transitorios.
- Limitar la diferencia de potencial a tierra en un circuito, durante su operación normal.

Para lograr que una puesta a tierra de protección cumpla con los objetivos previstos, es necesario establecer un medio a través del cual sea posible entrar en contacto con el terreno.

El objetivo es obtener una resistencia eléctrica de bajo valor, mantener los potenciales producidos por las corrientes de falla dentro de los límites de seguridad y la protección sea mas sensible para que la corriente baje a tierra en sistema de distribución continua. Para lograr valores óptimos de resistencia a tierra en una instalación de puesta a tierra se debe tener presente que el buen conductor de electricidad es el suelo y para esto se debe saber su resistencia eléctrica, tipo de suelo y su composición química.

CAPITULO III

DISTORSION ARMONICA, TOPOLOGÍAS Y FILTROS

3.1 Distorsión armónica

La distorsión armónica se debe a cargas no lineales es decir corrientes y tensiones no senusoidales, cuando la diferencial de tensión por el neutro circula la corriente debida a los desequilibrios entre cada fase y a componentes armónicos principalmente de orden 3. La tensión en el conductor de neutro no debe ser superior a 0.6V puede medirse como tensión entre neutro y tierra.

Las cargas no lineales son producidas por los equipos electromagnéticos, sistema de cómputo, etc., la distorsión armónica produce corrientes de valores significativos a las frecuencias de orden impar de la frecuencia fundamental.

La distorsión armónica afecta considerablemente al conductor de neutro de las instalaciones eléctricas, como tenemos la frecuencia de 60 Hz con conexión delta en el primario y conexión estrella en el secundario del transformador. El secundario generalmente entrega 230 V a AC entre fase y neutro y 400V a AC entre fases. El balanceado de la carga para cada fase es el problema de los diseñadores de sistemas eléctricos.

El incremento en algunos de las cargas no lineales principalmente la incorporación de sistemas de transmisión de corriente continua y la proliferación de diversas fuentes de generación de armónicos esta causando un incremento de problemas en los sistemas de potencia.

3.1.1 Fuentes de armónicos

Existen un gran número de dispositivos que distorsionan el estado ideal de las redes eléctricas, algunos de ellos han existido desde la formación de los sistemas de potencia y otros son producto de la aplicación de dispositivos de electrónica de potencia utilizados por el control moderno de las redes eléctricas. Como por ejemplo el convertidor de línea o velocidad variable, los ordenadores y otros dispositivos electrónicos, dichos dispositivos se

utiliza tanto como rectificador (ac-dc) como inversor (dc-ac) esto en aplicaciones de alta y baja potencia. Otra fuente principal de armónicos particularmente en zonas pobladas es la iluminación a base de gas (fluorescente, arco de mercurio, sodio de alta presión, etc.).

Los efectos de los armónicos pueden consistir en el sobrecalentamiento de los transformadores, cables, motores, y condensadores conectados a la misma fuente de alimentación que los dispositivos que generan los armónicos es posible que las pantallas electrónicas y la iluminación experimenten fluctuaciones que se disparan los interruptores, que fallen los ordenadores y que las mediciones arrojen valores falsos.

Si las fallas que se producen no son detectadas entonces se tiene que hacer una investigación de la distorsión por armónicos en la distribución eléctrica de la planta

3.2 Cargas de transformadores

3.2.1 Introducción

Todos los sistemas eléctricos están expuestos a contingencias y diversos problemas causados por fenómenos naturales, accidentes o por la propia operación de la red que contiene armónicos y la calidad de energía no lo es adecuado por la infinidad de equipos desarrollados por la electrónica de potencia que cuentan con tecnología de punta, que son muy sensibles a la variación de tensión. Las compañías suministradoras deben procurar de conservar la calidad de energía y así evitar las interrupciones del servicio, depresiones o impulsos de tensión, variaciones en la frecuencia y generación de armónicas, este último problema, la distorsión armónica en los sistemas eléctricos provocado por el incremento en la utilización de equipos con componentes electrónicos, actualmente no solo esta afectando a los usuarios del fluido eléctrico sino que las compañías suministradoras reciben en su propia red eléctrica las distorsiones armónicas inyectadas por los propios usuarios que cuentan con equipos desarrollados por la electrónica de potencia pero a su vez afectan a usuarios que no tienen dichos equipos electrónicos, distorsionando las ondas de corriente y tensión; provocando sobrecalentamientos en los transformadores de potencia de la empresa suministradora

3.2.2 Consecuencias en el transformador

Los corrientes armónicos en los transformadores de potencia, causan un incremento en las pérdidas en el cobre (los conductores) y en las de dispersión por flujo magnético que fluyen en el devanado, en el núcleo y en otras partes conductoras sujetas al campo magnético del transformador, por otra parte; las tensiones armónicas provocan un incremento en las pérdidas en el hierro y por lo tanto en general un sobrecalentamiento que

limita su capacidad nominal. Es deseable limitar la distorsión armónica total de corriente al 5% para carga nominal y al 10% en vacío [20].

3.2.3 Metodología del cálculo de la limitación de la capacidad en transformadores

El método que permite determinar la capacidad de los transformadores de potencia sin pérdida de su expectativa normal cuando alimentan corrientes de cargas no lineales; este procedimiento permite evaluar la factibilidad de aplicar dichas corrientes a transformadores en servicio así como especificar transformadores nuevos que alimentarán corrientes de cargas no lineales. Existen dos métodos [20]

- El primero se basa en la información detallada de la distribución de la densidad de pérdidas dentro de los devanados del transformador.
- El segundo es menos exacto y se toman como referencia los datos del informe de pruebas del fabricante del transformador. Este método es recomendable usarlo por los compradores del equipo.

3.3 Factor de potencia trifásica

Denominamos factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura.

Es importante que el factor de potencia sea alto ya que las empresas industriales usan generalmente motores eléctricos inductivos trifásicos que son de carácter reactivo este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (kW) se sume el de una potencia llamada reactiva (kVAR) las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación. [1]

Su representación fasorial es el triángulo de potencias y muestra que P se ubica en el eje real, mientras Q esta en el imaginario estando ambos en cuadratura y S es la resultante.

En la figura 3.1 se muestra la representación del triangulo de potencias y en la figura 3.2 pérdidas en el conductor en función del factor de potencia.

El factor de potencia viene determinado por tipo de cargas conectadas en una instalación y es adimensional puede tomar valores entre 0 y 1. En realidad las corrientes no pueden ser puramente resistivos ni reactivos es decir si el f.d.p es cercano a la unidad es fuertemente resistivo, mientras si es cercano a cero es fuertemente reactivo cuando el circuito sea de forma inductivo, que es el más común se dirá de un f.d.p en atraso, si fuera en adelante es de forma capacitivo.

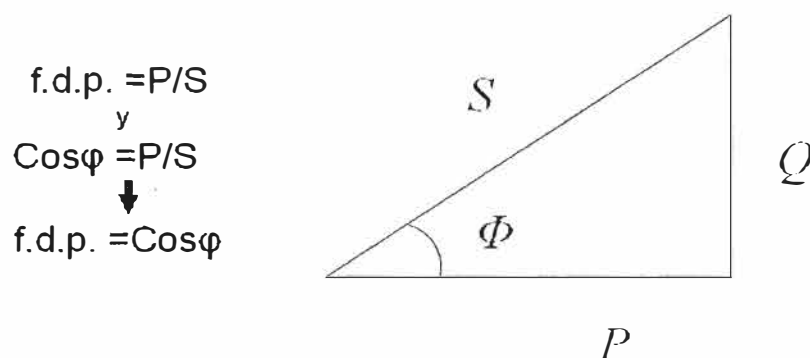


Figura 3.1: Las tres expresiones están relacionadas mediante el triangulo de potencia

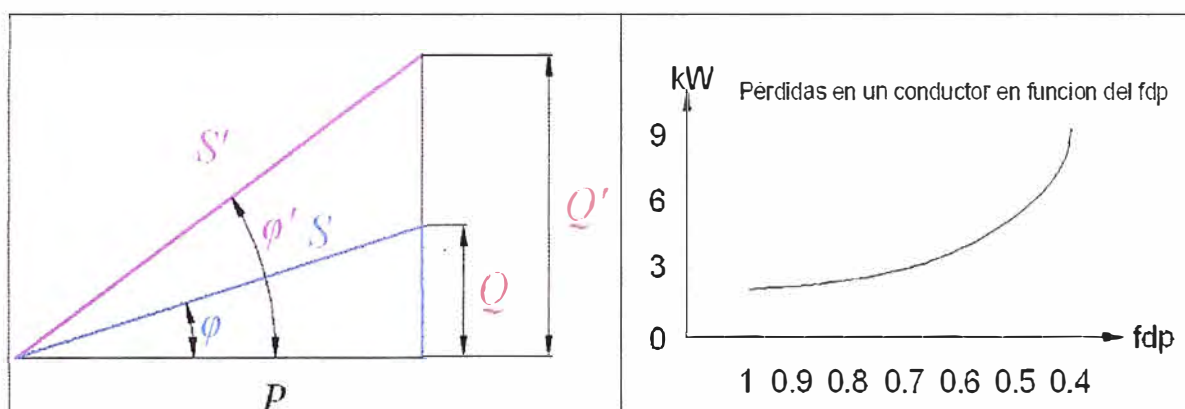


Figura 3.2: Para evitar pérdidas en el conductor el factor de potencia debe ser alta

S: potencia aparente

P: potencia activa

Q: potencia reactiva

La potencia reactiva no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesario para producir el flujo electromagnético poner en funcionamiento elementos como motores, transformadores, lámparas, equipos, etc.

Al existir bajo factor de potencia en una industria produce los siguientes inconvenientes al suscriptor:

- Aumento de la intensidad de la corriente
- Pérdidas en los conductores y fuertes caídas de tensión
- Incremento de potencia de las plantas, transformadoras, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores
- La temperatura de los conductores aumenta y esto disminuye la vida de su aislamiento.
- Aumento en sus facturas por consumo de electricidad

A la empresa distribuidora de energía:

- Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en kVA debe ser mayor, para entregar esa energía reactiva adicional.
- Mayores capacidades en líneas de transmisión y distribución
- Elevadas caídas de tensión y baja regulación de voltaje lo cual puede afectar la estabilidad de la red eléctrica.

3.3.1 Mejorar el factor de potencia

Mejorar el factor de potencia resulta práctico y económico por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos o utilizando motores sincrónicos disponibles en la industria, en la figura 3.3, se puede apreciar el efecto que tiene el factor de potencia antes y después de su aplicación del compensador donde se usa los condensadores, para atenuar la distorsión armónica de corriente o tensión.

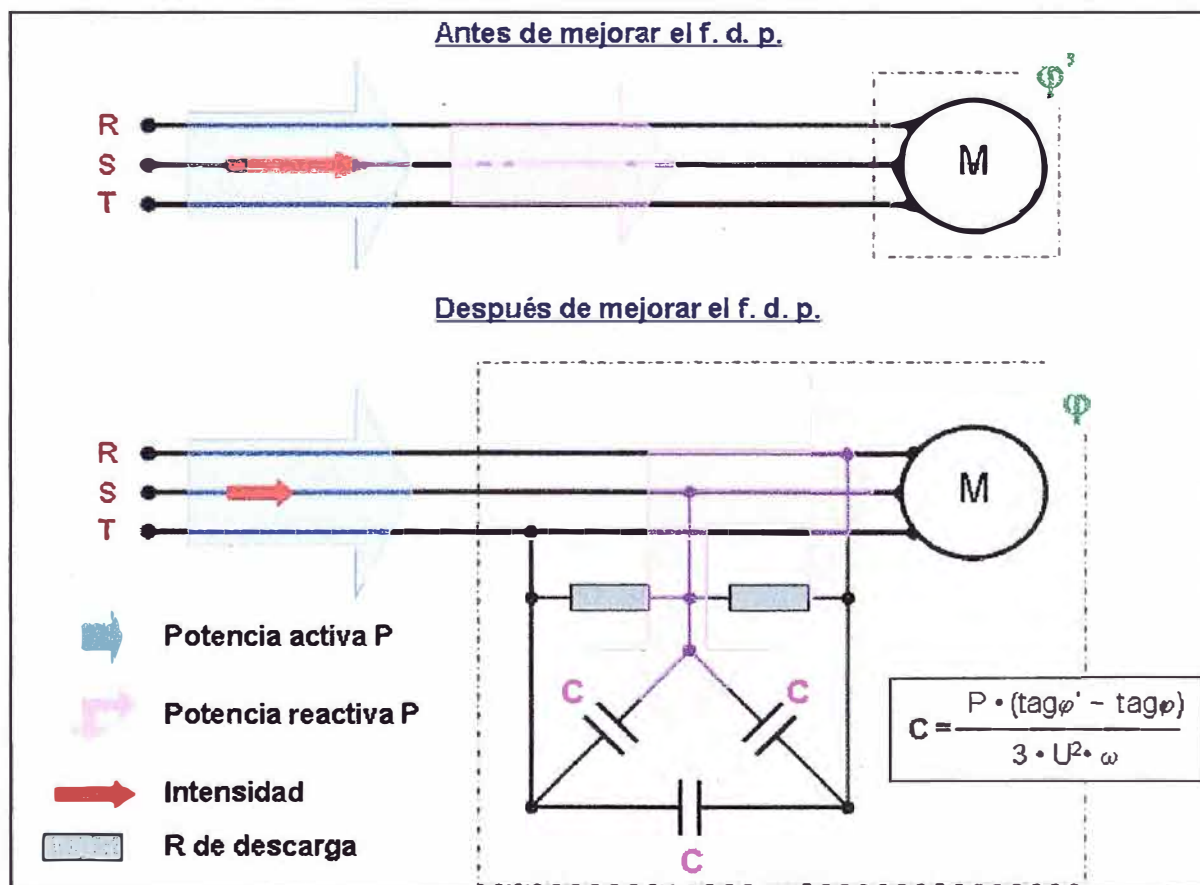


Figura 3.3: Compensación de factor de potencia en un circuito trifásico

Uso de condensadores necesarios es hacer midiendo la energía activa y reactiva que consumen las instalaciones existentes se puede calcular la potencia necesaria (kVAR) que deben tener los condensadores para lograr la compensación requerida. Por otro lado es

recomendable la instalación de registradores de potencia durante el tiempo necesario para medir por lo menos un ciclo completo de operación en la industria, incluyendo sus periodos de descanso, registros trifásicos.

3.3.2 Instalación de capacitores

Para su instalación se debe tomar en cuenta diversos factores que influyen en su ubicación como lo son: La variación, distribución de carga, la disposición, longitud de los circuitos y la naturaleza de la tensión.

Se puede hacer una corrección del grupo de cargas conectando en los transformadores primarios y secundarios de la planta.

Cuando la longitud de los alimentadores es considerable y se recomienda la instalación de capacitores individuales a los motores si son necesarios varios condensadores de diferentes capacidades con un costo mayor.

La corrección aislada del factor de potencia se debe hacer conectando los capacitores tan cerca como sea posible de la carga o de los terminales de los alimentadores.

Los capacitores instalados cerca de las cargas pueden dejar de operar automáticamente cuando las cargas cesan, incrementan la tensión y por ende el rendimiento del motor.

3.4 Tipos de instrumentos, analizador de la calidad de energía

Los equipos de medida de valores de corriente alterna deben referirse al valor RMS (valor cuadrático medio) o calentamiento efectivo. Dicha magnitud es equivalente al valor de una corriente continua con el mismo calentamiento que el producido por la corriente alterna que esta siendo medida. La manera mas habitual de medida este valor RMS con un multímetro es rectificar la corriente alterna, determinar el valor medio de la señal rectificada y multiplicar este valor por 1x1. Este factor es el constante que relaciona el valor medio y el valor RMS de una señal senoidal perfecta. Si la forma de la señal esta distorsionada esta relación es falsa.

En el mercado existe una amplia variedad de equipos de medición como Fluke, Powerlogic, sinewave, analizador de redes, etc. El analizador de redes es un equipo de avanzada que tiene programa para analizar armónicos.

3.4.1 Soluciones al problema de armónicos

Buscar los métodos y dispositivos para reducir las pérdidas y mantener los niveles armónicos por debajo de los límites permitidos de acuerdo a las normas aprobados y establecidas, que consiste en optimizar ubicando los compensadores (condensadores, filtros de acuerdo a su diseño y efecto) independientemente del tipo de compensador

utilizado para reducir los niveles de armónicos en el sistema o en el usuario, se debe analizar la forma en que el compensador afecta a la impedancia al variar la frecuencia, esto con el fin de determinar resonancias serie (baja impedancia al paso de corriente) y paralelo (baja admitancia a la tensión de alimentación).

Con bancos de condensadores conmutados y protección de resonancia, basados en la tecnología de conmutación tradicional. Comparándolos con las soluciones basadas en semiconductores de potencia son bastante normales para redes de baja tensión, muy compactos seguros tienen pérdidas muy bajas y son de reducido costo en comparación con redes de media tensión que su reducción es mínimo.

3.4.2 Estrategias de compensación

Desde el punto de vista eléctrico el objetivo del balance y estrategias de compensación de cargas trifásicas radica en equilibrar la potencia activa que es entregada desde la fuente de alimentación hacia una carga industrial y a la vez reducir o cancelar la potencia reactiva demandada por la misma.

Dentro de las principales razones que justifican la corrección de los desequilibrios de potencia activa y reactiva en la carga se encuentra el hecho de que no es económico suministrar la demanda de potencia reactiva directamente desde el sistema eléctrico. Además, en caso de grandes desequilibrios en los consumos de potencia, el sistema es muy débil para mantener en los terminales una tensión con variaciones aceptables.

Adicionalmente la existencia de cargas contaminantes de armónicas afecta tanto las corrientes de línea como las tensiones de alimentación, introduciendo distorsiones que afectan la eficiencia de los sistemas de distribución.

Este fenómeno anteriormente descrito es altamente perjudicial desde el punto de vista eléctrico, ya que afecta el desempeño de los equipos que se encuentran conectados a la red, acortando su vida útil, y exponiéndolos a un riesgo de destrucción en caso de perturbaciones importantes de la alimentación. Además las sobre tensiones y/o sobre corrientes muchas veces paralizan las industrias, ocasionando pérdidas económicas.

Las cargas que implican la aparición de armónicos de corriente, como los rectificadores con alta inductancia en el lado dc, son denominados cargas tipo fuente de corriente. Por otro lado, cuando hacen aparecer armónicos de tensión, como los rectificadores con una rama dc altamente capacitiva, las cargas se denominan tipo fuente de tensión.

Según el tipo de armónicos a eliminar se han propuesto diferentes esquemas de compensación, [8][9] desde filtros pasivos y/o activos conectados en serie o en paralelo, como filtros híbridos pasivos-activos con distintas topologías [9][11].

En las figuras siguientes se muestran las tres soluciones ensayadas: un filtro pasivo con ramas LC sintonizadas a los armónicos de mayor magnitud de la carga, figura 3.4 a, un filtro activo de conexión paralela, figura 3.4 b, y un filtro híbrido paralelo, constituido por un pasivo en serie con un activo, figura 3.4 c

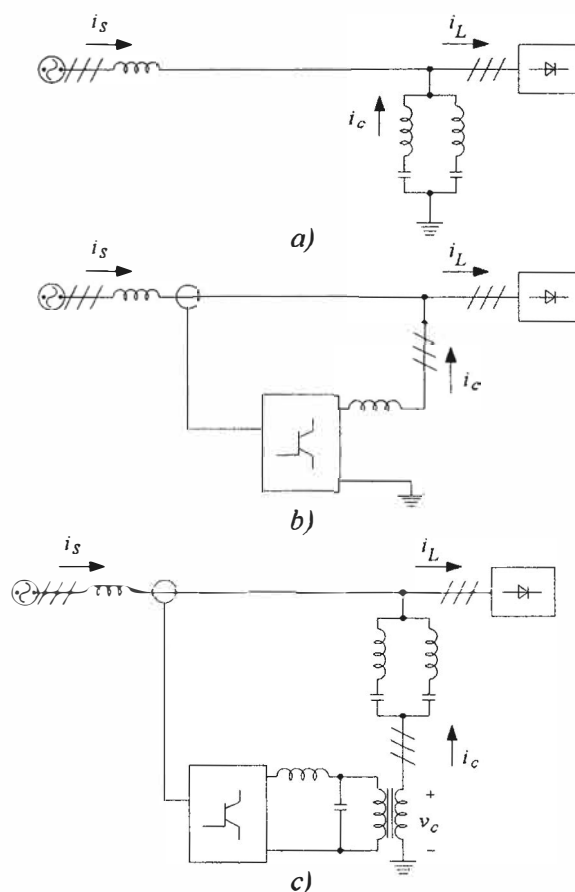


Figura 3.4 Esquemas de compensación paralela,
a) Con filtro pasivo, b) con filtro activo y
c) con filtro híbrido

3.5 Introducción al filtro armónico

El filtro en sistemas eléctricos son dispositivos electrónicos que presenta una severa variación de su impedancia en función de la frecuencia, la inserción de estos dispositivos en el sistema de potencia modificara la respuesta frecuencial del mismo, con lo que se podrá alterar el camino de circulación de los armónicos de corriente. Según este concepto los filtros de armónicos se podrán clasificar en dos categorías principales:

a. Filtros paralelos

Dichos filtros presentaran baja impedancia en un determinado rango de frecuencias. La conexión de este tipo de filtros en paralelo con la carga permitirá establecer un camino de

baja impedancia para los armónicos de corriente seleccionados, evitándose así que estos fluyan por el lado de la fuente.

b. Filtros Serie

Son complementarios a las anteriores que ofrecen alta impedancia a determinadas frecuencias. La conexión de estos filtros con la carga aumentara la impedancia que ofrece el sistema a los armónicos escogidos, se atenuara su amplitud.

Como muestra, se dibuja las topologías de filtrado en la figura 3.5

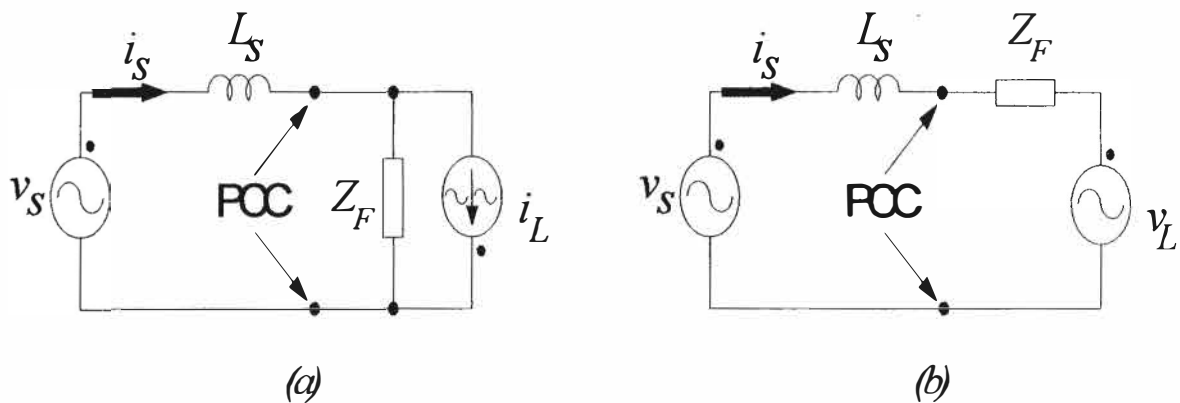


Figura 3.5: Circuito equivalente por fase de conexión del filtro de armónicos.

a) Conexión paralela b) Conexión serie

Cada uno de los filtros nombrados presenta un campo de aplicación específico donde se dibuja las topologías de filtrado mostrados en la figura 3.5. Donde en la figura 3.5a, cuando la carga no lineal tiende imponer la corriente solicitada de la red (rectificador con inductancia en lado de continua), el uso de un filtro paralelo será la mejor opción posible, la correcta sintonización del filtro paralelo, el cual puede estar constituido por varias células de filtrado que permitirá que los armónicos seleccionados circulen mayoritariamente a través del mismo, la inserción del filtro paralelo disminuirá la impedancia que presenta la red a las frecuencias seleccionadas, con lo que mejorara la forma de onda de tensión en el PCC. La figura 3.5b muestra una topología de filtrado basada en un filtro serie, lo que es ideal para cargas no lineales que tienden mantener constante la tensión en su punto de conexión a la red la correcta sintonización del filtro serie aumentara la impedancia de la línea para las frecuencias seleccionadas, con lo que los armónicos de corriente a dichas frecuencias se verán fuertemente atenuados. Entonces el filtro serie aumentara la impedancia de la línea aguas abajo del PCC, lo cual mejorara la forma de onda de la tensión en dicho punto [13]

3.6 Fundamentos básicos de resonancia

Se dice resonancia a la utilización de dispositivos que producen los dispositivos tanto capacitivos como inductivos en sistemas de distribución provoca el fenómeno de la resonancia, teniendo como resultado valores extremadamente altos o bajos de impedancia. Estas variaciones en la impedancia modifican la corriente y la tensión en el sistema de distribución, siendo los mas frecuentes son los fenómenos de resonancia – paralelo, Es decir es una amplificación de la respuesta de un sistema de potencia a una excitación periódica si la frecuencia de excitación es igual a la frecuencia natural del sistema, se muestra en la figura siguiente.

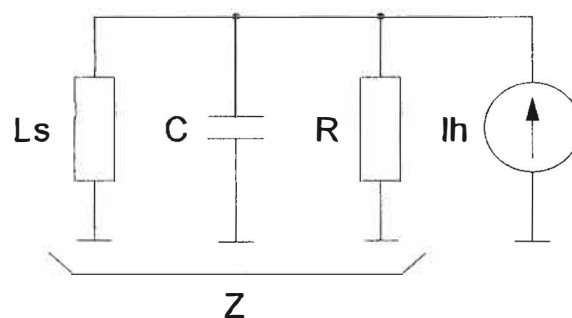


Figura 3.6: Resonancia paralelo

Ls: inductancia suministrada (sistema de distribución + transformador + línea)

C: capacidad corrección factor de Potencia

R: resistencias de las cargas lineales

Ih: corriente armónica

En sistema de potencia los problemas de Resonancia causados por capacitor son:

- a. **Resonancia Serie:** Es una baja impedancia al flujo de corriente armónico
- b. **Resonancia Paralelo:** Es una alta impedancia al flujo de corriente armónico.

Para el análisis armónico, el diagrama equivalente se muestra abajo:

$$Z = \frac{jL_s\omega}{1 - L_sC\omega^2} \quad (3.1)$$

Si se desprecia R

La resonancia se produce cuando el denominador $1 - L_sC\omega^2$ se aproxima a cero. La frecuencia correspondiente se denomina frecuencia de resonancia del circuito. A esta frecuencia, la impedancia tiene su valor máximo, teniendo como resultado un aumento

considerable de la tensión de los armónicos y consecuentemente una mayor distorsión en la tensión, esta distorsión en la tensión esta acompañada por la circulación de corrientes armónicas en el. circuito $L_s + C$ que son mayores que las corrientes armónicas inyectadas. El sistema de distribución y los condensadores de compensación están expuestos a corrientes armónicas considerables, teniendo como resultado el riesgo de sobrecargas.

3.7 Ancho de banda y factor Q

Ancho de banda de un filtro es la diferencia entre las frecuencias en las que su atenuación al pasar a través de filtro se mantiene igual o inferior a 3 dB comparado con la frecuencia central de pico, en otras palabras el ancho de banda que no es otra cosa que un conjunto de frecuencias consecutivas.

La frecuencia es la amplitud física que mide las veces por unidad de tiempo en que se repite un ciclo de una señal periódica.

El factor Q también denominado factor de calidad o factor de merito, es un parámetro usado en electrónica para comparar la calidad de un sistema resonante, los sistemas resonantes responden a un cierto rango de frecuencias, llamado frecuencia natural frecuencia propia o frecuencia de resonancia. El rango de frecuencia es el ancho de banda y frecuencia central es la frecuencia de resonancia eléctrica.

$$Q = \frac{\text{Frecuencia Resonante}}{\text{Ancho de Banda}} = \frac{W_o}{B} \quad (3.2)$$

3.8 Técnicas para reducir armónicos

Para limitar la propagación de los armónicos en la red, es eliminar los síntomas mas no el origen, esto incrementando la tolerancia del equipo y del sistema a los armónicos o modificar los circuitos y los sistemas para reducir su impacto, atrapar o bloquear los armónicos con filtros, en casos de sobrecarga, daño de equipo o diseño apropiado, estas causas que generan armónicas, pueden ser corregidas, para lo cual se deben tomar una serie de medidas, especialmente cuando se diseña una nueva instalación como:

a. Posicionar las cargas perturbadoras aguas arriba en la red

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

Se debe tener las consideraciones económicas aparte, preferible conectar las cargas perturbadoras lo mas aguas arriba posible ver esquema.

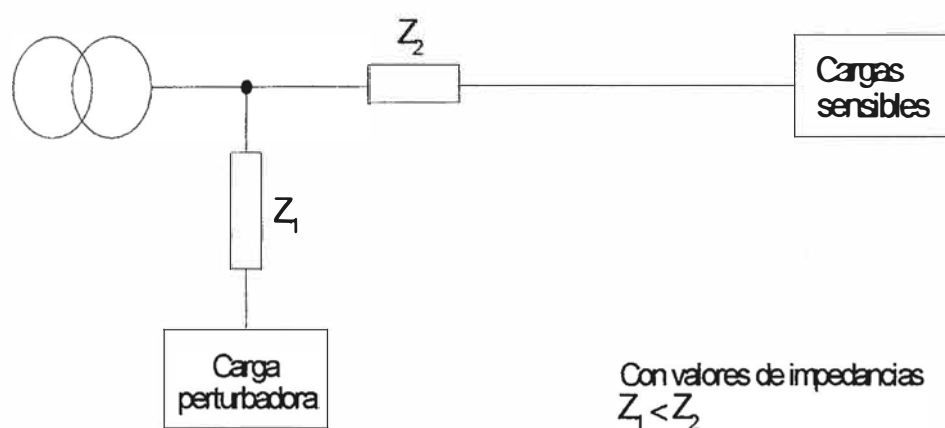


Figura 3.7: Alimentación aguas arriba posibles de cargas no lineales

b. Reagrupación de cargas perturbadoras

En el diagrama unificar, se debe separar lo mas posible, los equipos perturbadoras de los otros como se ve en la figura 3.8, en la practica se deben alimentar las cargas perturbadoras y las no perturbadoras con juegos de barras diferentes.

Se debe evitar la circulación de corrientes armónicas en los cables, limitando las caídas de tensión y el aumento de temperatura en los cables

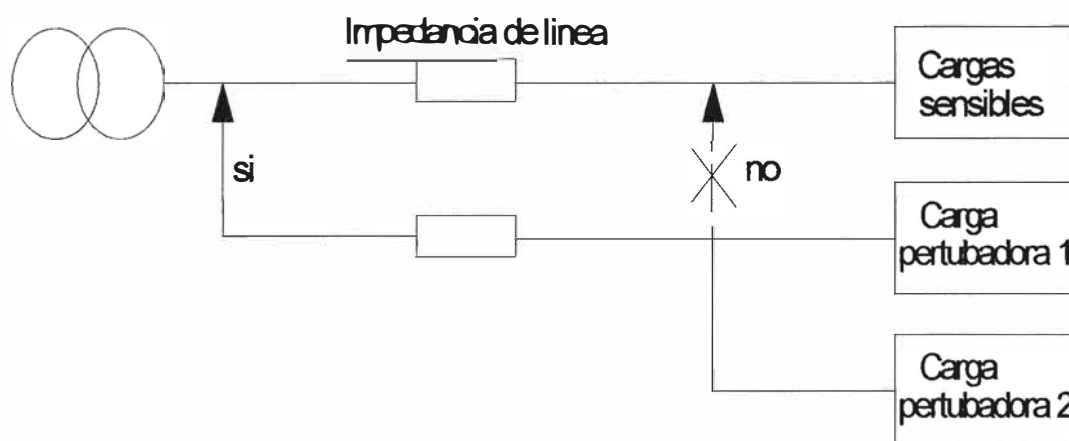


Figura 3.8: Reagrupación de cargas no lineales y alimentación lo mas aguas arriba

c. Separar las fuentes

En esta parte con el objetivo de limitar los armónicos, se obtiene una mejora suplementaria alimentando las cargas no lineales con transformadores separados desde una fuente independiente del resto de las cargas de la instalación; es decir cargas lineales que también tienen una fuente independiente de la red principal de la media tensión, como se muestra en la figura 3.9, en este tipo de soluciones lo que encarece mas en su aplicación es el aumento en el costo de la instalación.

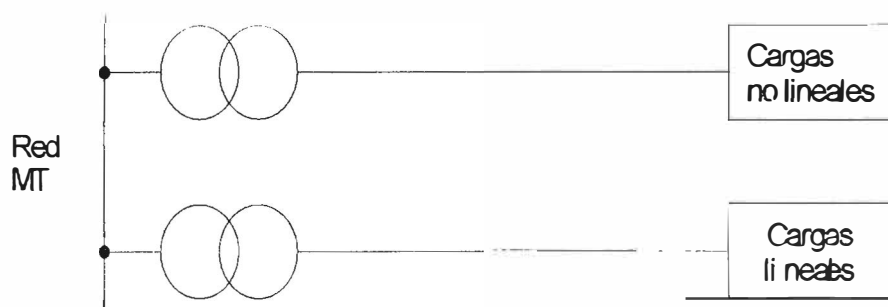


Figura 3.9: Alimentación de cargas perturbadoras con transformador separado

d. Utilización de transformadores en conexiones particulares

Se hace algunas conexiones en los transformadores para eliminar los armónicos

- Una conexión delta – estrella – delta elimina los armónicos de orden 5 y 7
- Una conexión delta – estrella elimina los armónicos de orden 3 (los armónicos circulan por cada una de las fases y retornan por el neutro al transformador)
- Una conexión delta – zigzag elimina los armónicos de orden 5 (por retorno en el circuito magnético)

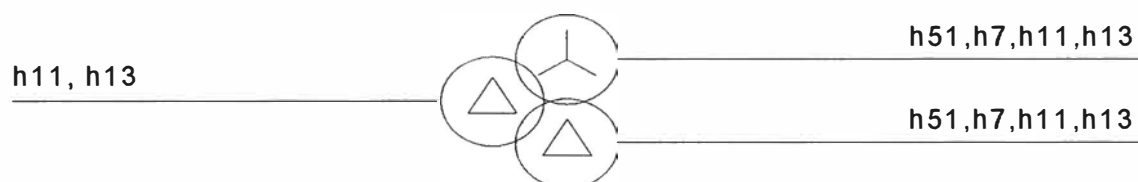


Figura 3.10: Utilización de un transformador delta-estrella-delta previene la propagación de armónicos

e. Instalación de inductancias

Si se alimenta con variadores de velocidad, se puede alisar la corriente con la utilización de inductancias de línea, cuando se aumenta la impedancia del circuito de alimentación se limita la corriente.

Se utiliza inductancias anti-armónicas en las baterías de condensadores permite aumentar la impedancia de la bobina del condensador para frecuencias elevadas.

f. Elección de un esquema de enlace adaptado a tierra

• Caso de régimen TNC

En el caso de régimen de neutro TNC, un solo conductor (PEN) asegura la protección en el caso de defecto (tierra) y asegura el tránsito de las corrientes de desequilibrio.

El régimen de neutro TNC debe ser utilizado únicamente para la alimentación de circuitos de potencia, en cabecera de la instalación, y nunca se debe utilizar para la alimentación de cargas sensibles.

- **Caso de régimen TNS**

El sistema recomendado en el caso de presencia de armónicos.

El conductor de neutro y el conductor de protección PE están completamente separados, asegurando de este modo una tensión en el sistema mucho más estable.

3.8.1 Filtros pasivos

Para un uso mas eficiente de la energía es necesario tener un mayor control en los procesos para el empleo cotidiano de cargas que tienen armónicos para reducir o mejorar el sistema se requiere filtros.

El uso de estos filtros pasivos solo varia en la forma de aplicación, es decir puede ser combinado su instalación en serie de un reactor y un capacitor pero a la vez se conectara en paralelo con la carga, lo que se quiere filtrar los armónicos para mejorar el factor de potencia.

Las cargas industriales típicas requieren filtros con controles de frecuencia variable, controles de máquinas de corriente continua, rectificadores, hornos de inducción, UPS, los armónicos con mayor magnitud y mayor frecuencia el tipo de cargas es la 5ta. armónica.

El filtro pasivo es un filtro que sintoniza para una armónica en especial, de un rango determinado siendo los más utilizados en los sistemas eléctricos por su bajo costo y de fácil instalación, aunque a veces, se presenta problemas de resonancia

a. Filtros pasivos serie

Evitan el paso de una componente de frecuencia particular, desde el contaminante hacia algun componente de la planta o parte del sistema de potencia, mediante la presencia de una gran impedancia serie a la frecuencia especificada, estos constan de un inductor y un capacitor en paralelo que se posicionan en serie a la parte de la red que se desea proteger.

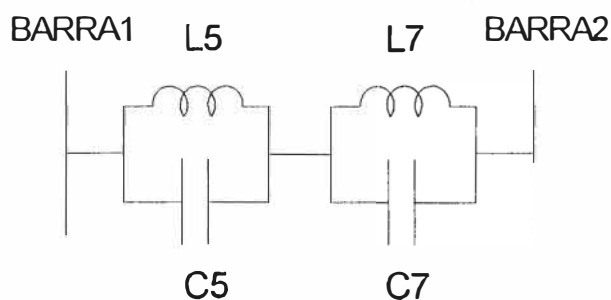


Figura 3.11: Filtro pasivo en serie

De muy baja impedancia para las frecuencias armónicas, y consisten en una rama resonante serie compuesta por elementos RLC en conexión paralela con el sistema de alimentación, entre otros.

b. Filtro tipo shunt pasivo

El filtro shunt o paralelo proveen un paso alternativo de muy baja impedancia para las frecuencias armónicas, y consisten en una rama resonante serie compuesto por elementos RLC en conexión paralela con el sistema de alimentación, entre otros.

El filtro paralelo presenta mayores ventajas que el filtro serie porque es mas económico, solo transporta corrientes armónicas para las que fue sintonizado proporciona una parte de la potencia reactiva al sistema.

Existe una gran variedad de configuraciones de filtros pero las más utilizadas son los filtros sintonizados simples, los Pasa Altos y otros.

- **El Filtro sintonizado simple.** Elimina una armónica determinada, consiste en un banco de condensadores conectado en serie con un inductor, mostrado en la figura 3.12

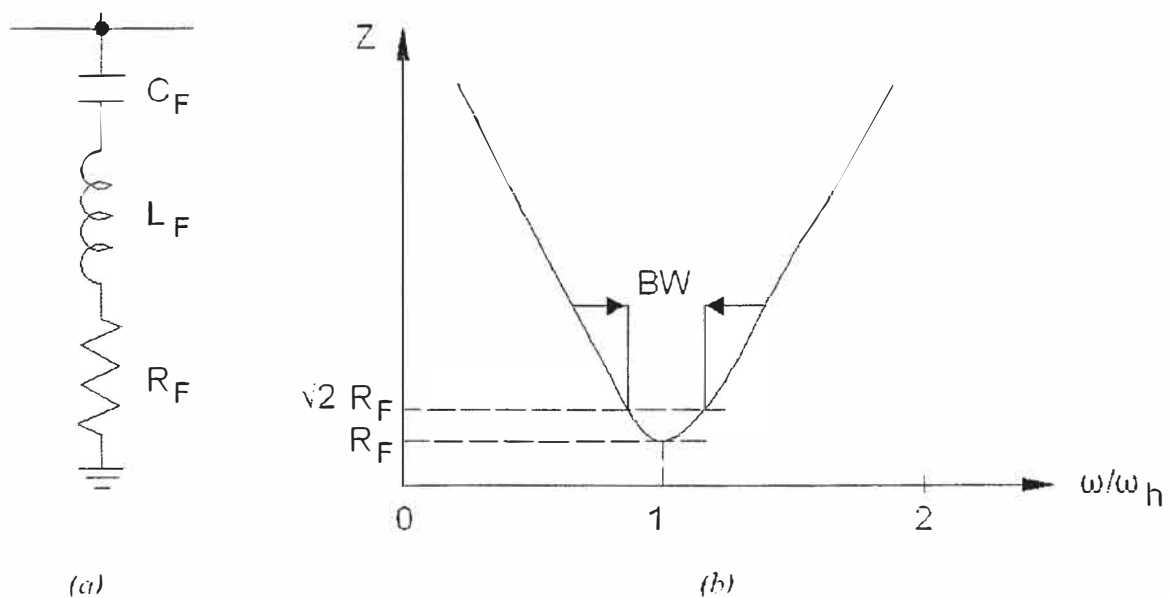


Figura 3.12: a) Filtro sintonizado simple b) Comportamiento en frecuencia

Como se muestra en el grafico arriba, un filtro pasivo en derivación esta sintonizado a la frecuencia que iguala sus reactancias inductivas y capacitivas.

- **Filtros sintonizados.** Es utilizado para eliminar en forma individual las armónicas mas bajas como 3^a , 5^a y 7^a , son parte de filtros pasivos que se conectan en paralelo al sistema de distribución general o a cargas individuales significativas para reducir el

contenido armónico generado por los dispositivos no lineales, además de proporcionar potencia reactiva fundamental para compensar el factor de potencia de desplazamiento, debiendo coordinar su operación con la demanda de la carga.

Cuando se instala filtros en el bus principal de distribución su potencia total esta conformada por grupos que son accionados por contactores y a su vez son comandados por un regulador que determina los requerimientos específicos de potencia reactiva del sistema que permite compensarla en una amplia gama de demandas.

Dichos filtros están compuestos por una inductancia en serie con un capacitor que puede estar conectado en delta o en estrella y cuyos valores definen la frecuencia de sintonía.

- **Filtros desintonizados** Estos filtros desintonizados tienen el mismo arreglo y conexión a la red que el sintonizado pero se sintonizan a una frecuencia que es por debajo de la característica de menor orden, típicamente entre la 3^a y 4^a armónica. Su aplicación principal es compensar el factor de potencia de desplazamiento en un sistema donde la proporción de la carga no lineal con relación a la total es inferior al 40% y se desea proteger a los capacitares contra sobrecargas armónicas.

Al establecer la frecuencia de sintonía en un valor bajo presentara una impedancia reducida a mayores frecuencias absorbiendo una proporción de armónicas en la figura 3.13 se puede ver el circuito del arreglo de filtro desintonizado.

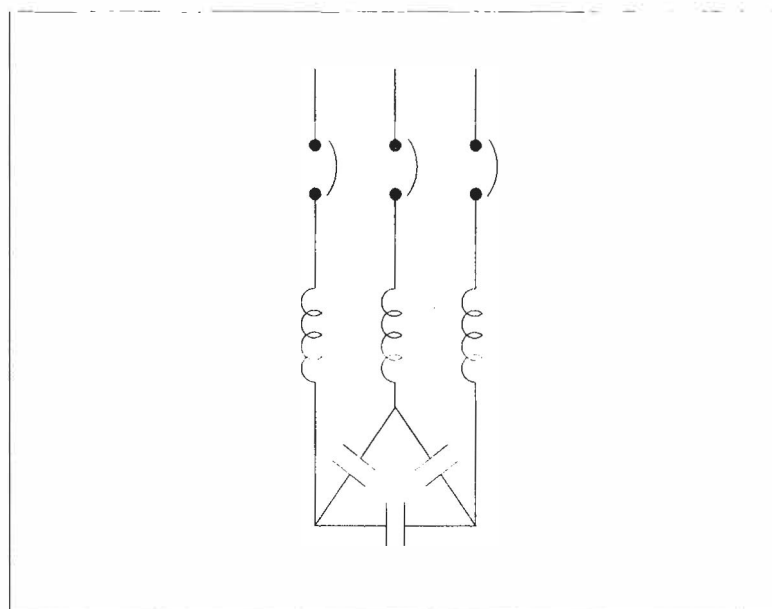


Figura 3.13: Arreglo de filtro desintonizado

Los filtros desintonizados tienen la ventaja con respecto a los sintonizados de ser más económicos, sus componentes están expuestos a corrientes armónicas menores, si su aplicación exceda la carga al 40% no será conveniente por que se tiene que cumplir con los límites establecidos en la norma IEEE 519.

Los efectos más importantes de los filtros desintonizados en el sistema son:

- Proteger a los capacitores.
- Evitar resonancias.
- Compensar el factor de potencia de desplazamiento
- **Filtros Pasa Altos.** Se utiliza para eliminar un rango de armónicas las cuales tienen un valor pequeño de corriente, por lo general son usados para eliminar las armónicas de orden 11^a en adelante.

Para el filtro pasa altos el cálculo de la resistencia esta dado por:

$$R = QX_{\text{react}}(F_{\text{res}}) \quad (3.3)$$

Q Factor de calidad 0.5 menor Q menor 2

La respuesta de un filtro para diferentes valores de factor de calidad se observa en la figura 3.14

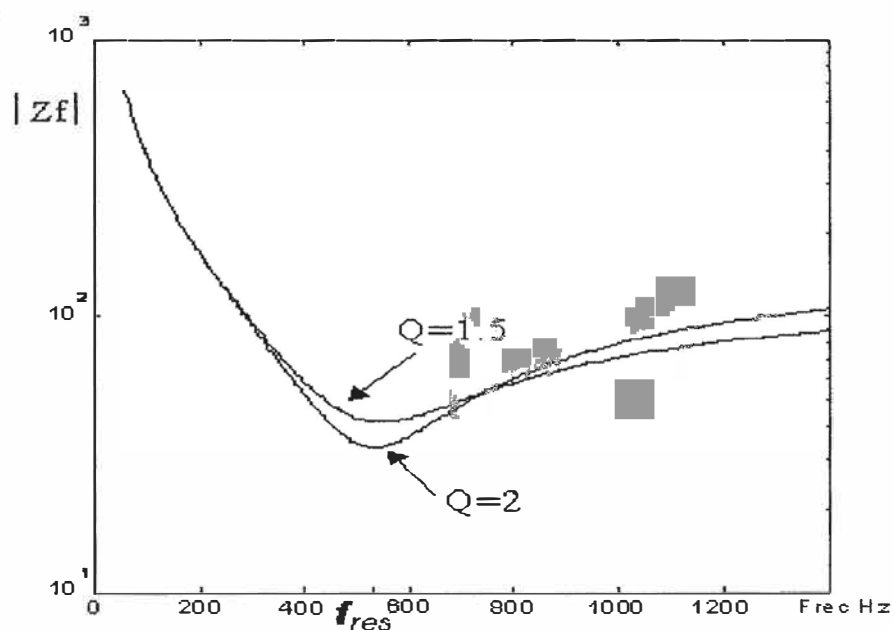


Figura 3.14: Respuesta de un filtro pasa altos

De hecho, como especifica el Standard IEEE-1531-2003 gracias a los condensadores.

El filtro paralelo aporta potencia reactiva capacitiva de frecuencia fundamental al sistema de potencia que optimiza el costo del filtro. [14]

Existen dos tipos de filtros LC serie

- Sintonizados o de absorción (+)
- Desintonizado o de rechazo (-)

Ambos filtros corrigen el factor de potencia cuando existen armónicos, evita que se vaya a otras cargas.

Presentan impedancias bajas para un gran ancho de banda cuando la impedancia de la red sufre variaciones considerables, no es recomendable el uso de filtro de elevado factor de calidad, en su lugar, si puede ser de paso de banda, que poseen mayor atenuación pero con inconveniencia que aumente las pérdidas a la frecuencia fundamental.

En general los filtros sintonizados absorben mas distorsión que desintonizados

3.8.2 Filtros activos

Los filtros activos consiste en una fuente controlada de corriente cuyas armónicas tienen la misma magnitud y desfasados 180° de las armónicas a eliminar ver figura 3.15.

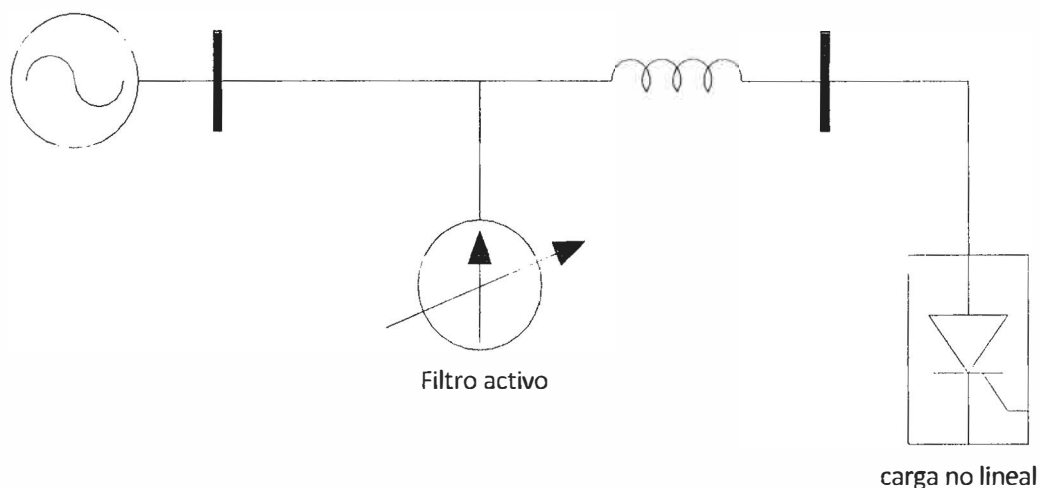


Figura 3.15: Filtro activo shunt

La inyección de contra armónicos en la red mediante los dispositivos electrónicos de potencia da lugar a lo que se conoce como filtros activos.

Siendo el filtro activo sumamente versátil para el equilibrio de las fases o la compensación de potencia reactiva, [11] sin embargo es un dispositivo relativamente complejo y costoso sobre todo en el sistema de gran potencia. Esto da a lugar que exista otro tipo de dispositivos conocidos como filtros híbridos.

El filtro activo de conexión paralelo, en este caso pueden utilizarse distintas estrategias de compensación para el control de filtro activo los más prácticos sería la de suministrarlos armónicos de corriente de la carga entonces se utiliza la teoría vectorial de la potencia eléctrica, cuya intensidad de referencia usada para el control del inversor se muestra en la siguiente ecuación.

$$\omega_n = 2\pi fn = \frac{1}{\sqrt{LnCn}} \quad (3.3)$$

$$i_{c,rq} = i_L - \frac{P}{V^2}v \quad (3.4)$$

Siendo:

i_L : vector de intensidades de carga

P : potencia media consumida por la carga

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T (u^T - i) dt \quad (3.5)$$

u : vector de tensiones de alimentación

v : vector de tensiones sin componente homopolar

V^2 : norma de v

$$V^2 = \frac{1}{T} \int_0^T (v^T - v) dt \quad (3.6)$$

La etapa de potencia del filtro activo, un inversor de dc-ac, sigue esta señal de referencia e inyecta en el sistema unas intensidades de compensación que consiguen que las intensidades de alimentación resulten sinusoidales, equilibradas, y en fase con las tensiones.

Un filtro activo es un dispositivo que utiliza, un convertidor estático para la compensación activa de armónicas, que agrupa una multitud de sistemas, que se diferencian por:

- El número de convertidores utilizados y su forma de asociación.
- Su tipo (fuente de tensión y fuente de corriente)
- Leyes generales de regulación aplicadas (compensación en corriente o en tensión)
- La adición eventual de componentes pasivos (filtros pasivos)

Todos los sistemas activos tienen en común, que todos generan tensiones o corrientes que se oponen a las armónicas creadas por las cargas no lineales

Las estrategias de compensación complejas son muy altas, no aparecen problemas de resonancia y el comportamiento dinámico es muy adecuado ya que utiliza un convertidor estático.

3.8.3 Filtros híbridos

Los filtros híbridos es un dispositivo que se genera entre los filtros activos y pasivos, donde los inversores de tensión o corriente trabajan en colaboración con los filtros pasivos, que mejora la respuesta frecuencial de estos últimos [18].

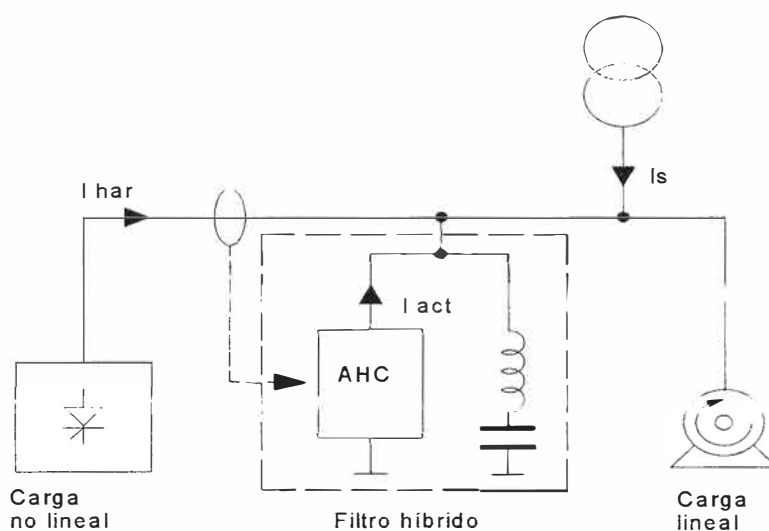


Figura 3.16: Principio de funcionamiento de un filtro híbrido

- **El principio de funcionamiento**

Los filtros pasivos y activos se combinan en un único sistema para construir un filtro híbrido (ver figura 3.16). Esta nueva solución de filtrado ofrece las ventajas de los dos tipos de filtros y cubre gran gama de niveles de potencia y rendimiento.

Los filtros híbridos no ofrecen las mismas funciones que el filtro activo el correcto diseño y control de los mismos, permite obtener excelentes sistemas de filtrado que utilizan inversores de baja potencia basados en topologías convencionales. Esta simplicidad en el diseño de los filtros híbridos se traduce en una reducción de su costo, lo cual les otorga una posición especial en aquellos escenarios en los que la relación costo – prestaciones del filtro activo alcanza cotas inaceptables.

3.8.4 Filtros de compensación activa y otros

El filtro activo o compensador activo tiene sus aplicaciones en las instalaciones comerciales con un conjunto de generadores armónicos de potencia total inferior a 200 kVA. Citaciones en las que es necesaria la reducción de la tasa de distorsión de corriente para evitar las descargas.

El filtro activo reinyecta en fase opuesta los armónicos que circulan por la carga, de tal forma que la corriente de línea I_s permanece sinusoidal.

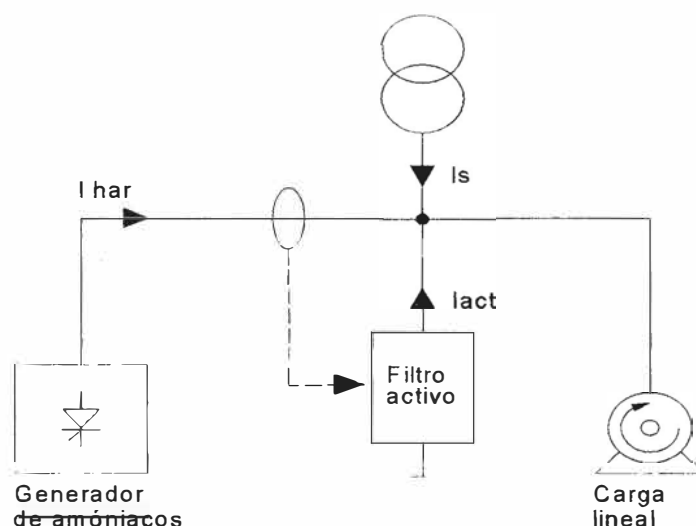


Fig.3.17: Principio de utilización de un filtro activo

3.9 Compensadores activos

Este tipo de dispositivo valido para la depuración de las redes BT, sea cual sea el punto de conexión y el tipo de carga (dispositivo se auto adapta). Según el nivel de inserción se tiene:

- **Una compensación local.** Si el compensador esta asociado a una carga no lineal
- **Una compensación general.** Si la conexión se realiza por ejemplo a nivel del tablero general de BT de la instalación.

El compensador activo paralelo constituye por tanto una fuente de corriente independiente de la impedancia de la red.

3.9.1 Introducción

Los problemas producidos en las instalaciones y en la red eléctrica por las corrientes armónicas una gran proporción de las cargas industriales, comerciales y domésticas son no lineales y la tasa de distorsión en las redes de distribución de baja tensión se ha convertido en un problema poco complejo para los usuarios. Solo en raras ocasiones proceden de la red de distribución eléctrica. Por lo que se esta haciendo una serie de estudios para limitar y/o eliminar los armónicos que el usuario pueda manejar o controlar en sus propios equipos, en consecuencia se tiene que eliminar o cuando menos una eficaz reducción de la corrientes armónicas, en líneas generales se pueden utilizar tres métodos, cada uno de los cuales presenta sus ventajas y inconvenientes que son:

- Filtros pasivos.

- Soluciones en los transformadores de aislamiento, zig-zag de acoplamiento vectorial.
- Filtros activos

En esta parte se trata el tema de filtros activos, a veces denominados compensadores activos de armónicos en serie o paralelo como se muestra en la figura siguiente. La posición y selección de los equipos dependerá de las circunstancias particulares de cada instalación y normalmente requerirá un estudio detallado de los armónicos presentes o previstos [19].

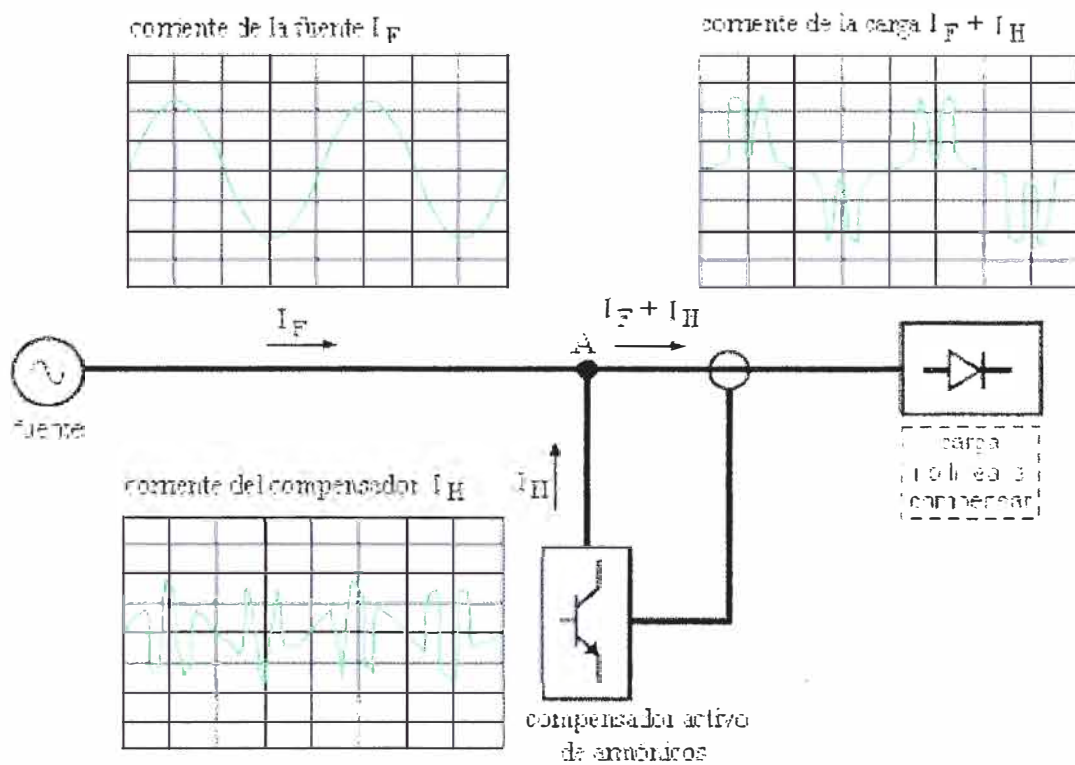


Figura 3.18: Compensador activo de armónicos en paralelo

3.9.2 Topologías de los compensadores activos de armónicos

El concepto del compensador activo de armónicos es sencillo, se utiliza un dispositivo electrónico de potencia que genera las corrientes armónicas requeridas por las cargas no lineales de forma que la fuente de alimentación normal sólo debe suministrar la corriente fundamental. La figura 3.18 muestra el principio de un dispositivo en paralelo.

La corriente que circula por la carga se mide mediante un transformador de corriente (CT), cuya salida es analizada por un DSP para determinar el perfil del armónico. Esta información sirve al generador de corriente para producir exactamente la corriente armónica requerida por la carga en el siguiente ciclo de la onda fundamental. En la

práctica, la corriente armónica requerida de la fuente de alimentación se reduce aproximadamente en un 90%.

Debido a que el compensador activo de armónicos se ajusta a la medición previa efectuada por el transformador de corriente, se adapta con rapidez a los cambios en los armónicos de la carga. Como los procesos de análisis y generación están controlados mediante un software adecuado.

Algunas topologías se describen a continuación donde se citan las características de los componentes posibles y el método de dimensionamiento del compensador en conjunto para las cargas a compensar.

a. Compensadores en serie

Este tipo de compensador, conectado en serie a la red de distribución, neutraliza tanto las corrientes armónicas generadas por la carga, como la distorsión de tensión que ya esté presente en el sistema de alimentación. Esta solución es técnicamente similar a un compensador de línea y debe dimensionarse para el valor nominal de la carga total.

b. Compensadores en paralelo

También denominados compensadores en derivación, o en shunt. Están conectados en paralelo con la línea de corriente alterna y es necesario dimensionarlos solamente para la potencia armónica (corriente armónica) producida por la cargas no lineales.

c. Compensadores híbridos

Esta solución, que combina un compensador activo y un filtro pasivo, puede ser de tipo serie o de tipo paralelo. En ciertos casos, puede resultar una solución rentable. El filtro pasivo lleva a cabo un filtrado básico (de 5° orden) y el compensador activo, debido a su técnica precisa y dinámica, se encarga de los armónicos de los demás órdenes.

3.9.3 Principio del funcionamiento del compensador activo de armónicos en paralelo

El compensador activo conectado en paralelo con la fuente de alimentación, inyecta constantemente corrientes que se ajustan exactamente a las componentes armónicas desarrolladas por la carga. El resultado es que la corriente suministrada por la fuente de alimentación permanece senoidal, el compensador no es sobrecarga, corrige los armónicos. Este sistema soporta todo el espectro de armónicos de baja frecuencia, desde el segundo hasta el vigésimo quinto armónico.

Si las corrientes armónicas provocadas por la carga son superiores a los valores nominales, el compensador limita automáticamente su corriente de salida a su valor máximo para evitar que siga aumentando.

CAPITULO IV

APLICACIÓN DE FILTROS HIBRIDOS PARA REDUCIR ARMONICOS

La aplicación de filtros híbridos para reducir los armónicos producidos por la proliferación de cargas no lineales siendo un serio problema en los sistemas eléctricos de potencia; es decir como consecuencia de la distorsión en los señales de tensión y/o corriente en que se produce una degradación de la calidad de la potencia eléctrica. En una planta industrial que produce el deterioro de sus instalaciones eléctricas y equipos, lo cual económicamente es perjudicial para su normal funcionabilidad y desarrollo de la misma.

Para la eliminación de armónicos ya sean de tensión o corriente, se han propuesto diferentes topologías [21] que incluyen filtros pasivos o activos conectados en serie o en paralelo, dependiendo de los armónicos a eliminar y que también puede ser una combinación de filtros pasivos con filtros activos de los cuales resultara el filtro híbrido[8][22].

El problema de distorsión armónica de tensión o corriente en las redes eléctricas producidas por cargas no lineales en las plantas industriales, las causas mas frecuentes de corrientes armónicas son cargas trifásicas no lineales, como motores de accionamiento controlados electrónicamente y UPS 's, por otro lado las fuentes de alimentación con condensadores y diodos que llevan incorporados los equipos de oficina son cargas monofásicas no lineales; es decir existen varios factores para la distorsión armónica en las plantas industriales. Para atenuar o disminuir los armónicos de tensión y/o corriente existen varios dispositivos electrónicos para su aplicación adecuada de su requerimiento, como la combinación de los filtros pasivos, activos e híbridos.

El objetivo central del presente informe, es que de dicha combinación de los filtros resulte óptima, económica y fácil la instalación del equipo.

4.1 Filtros híbridos

Se combinan las características de operación de los filtros activos y pasivos, filtrando una gran carga de frecuencias generando compensación de energía reactiva y con gran

capacidad de filtrar corriente como se muestra en el capítulo III figura 3.16 del filtro híbrido.

La proliferación de cargas no lineales ha supuesto un serio problema en los sistemas eléctricos de potencia como consecuencia de la distorsión en las señales de tensión o corriente se produce una degradación de la calidad de la potencia eléctrica. Estas cargas en función del tipo de armónicos que producen se pueden clasificar en fuentes de armónicos de corriente o fuentes de armónicos de tensión.

Para la eliminación de armónicos ya sean de tensión o corriente, se han propuesto diferentes topologías [21] que incluyen filtros pasivos o activos conectados en serie o en paralelo, dependiendo de los armónicos a eliminar, que puede ser una combinación de filtros pasivos con filtros activos.[8][22]

Para un mejor enfoque se analizan **dos** configuraciones de filtros híbridos, **una** en la que el filtro activo es conectado en serie con la impedancia de fuente y el filtro pasivo en paralelo con la carga, como se muestra en la figura 4.1, y **por otro lado** si los dos filtros se conectan en serie entre si y a su vez en paralelo con la carga según figura 4.2. En ambas configuraciones el objetivo de control del filtro activo es generar una tensión proporcional a los armónicos de la intensidad de fuente.

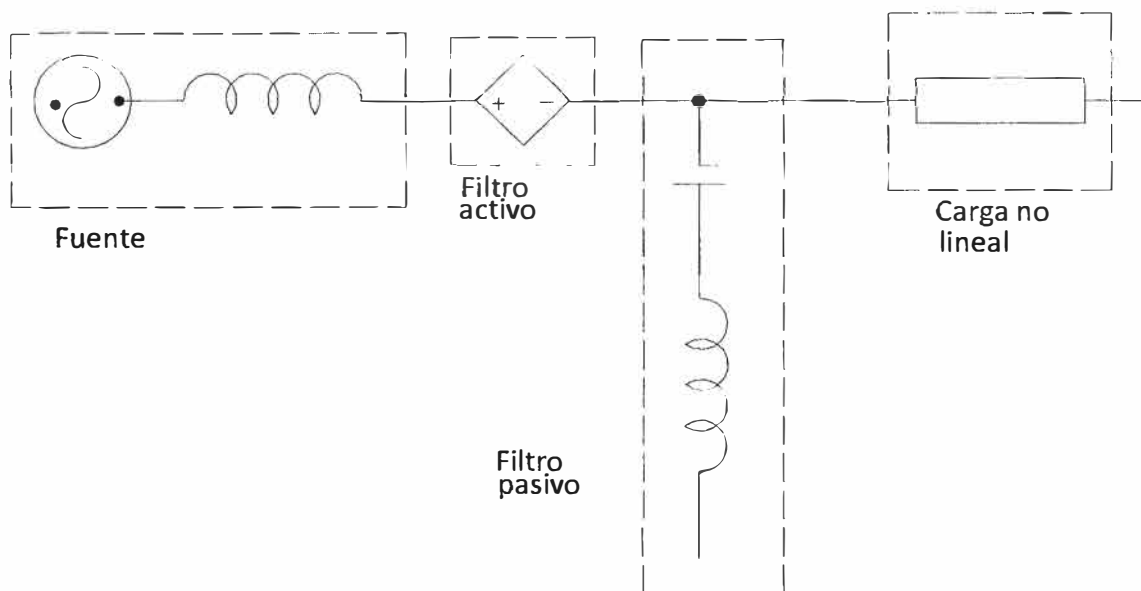


Figura 4.1: Topología activo en serie con la fuente

Para las dos topologías se presentan el estudio teórico desde el punto de vista de la corriente de fuente, tensión en la carga y tensión en el punto de conexión común de la red para los dos tipos de carga no lineales, que de acuerdo el autor ha sido verificado mediante

simulación utilizado la plataforma MATLAB-Simulink donde han obtenido todas las señales de referencia para el disparo de los dispositivos de potencia mediante la teoría vectorial de potencia eléctrica [11].

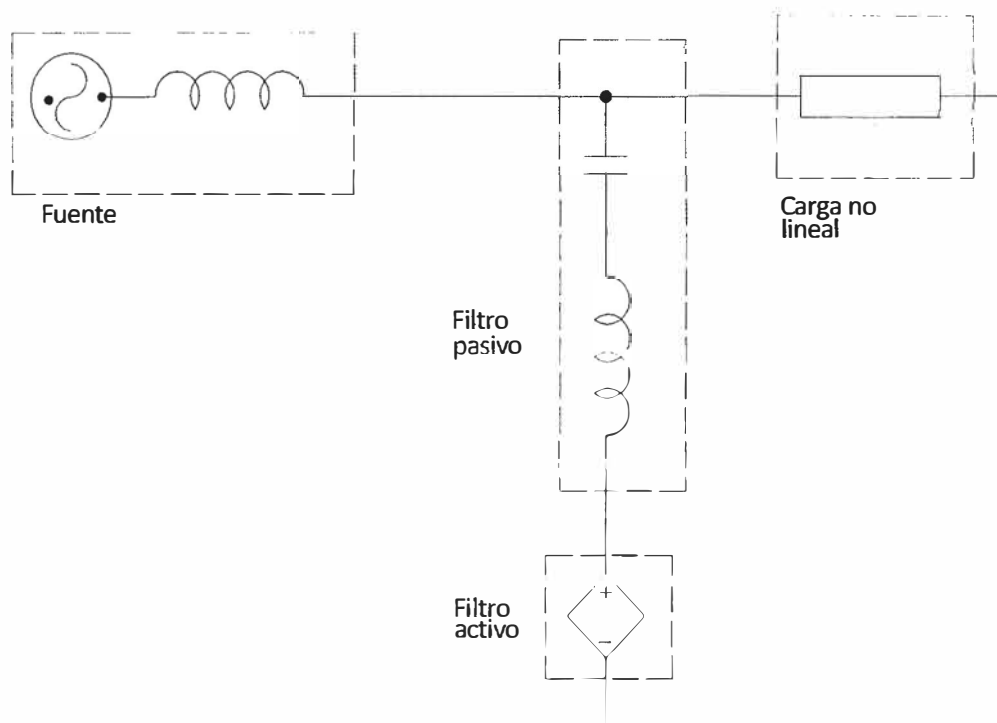


Figura 4.2: Topología filtro activo en serie con el filtro pasivo

El problema de distorsión armónica no se puede eliminar totalmente, sin embargo existen diversas formas o métodos de atenuar el contenido armónico en una red, en este caso se trata de una planta industrial con el fin de llevar la distorsión por debajo de los niveles establecidos por la norma IEEE 519.

4.2 Aplicación de Filtros híbridos

De acuerdo a la breve exposición anterior de las funciones que cumplen los filtros pasivos serie y paralelo no todos son óptimas para ciertos grados de armónicos por la baja frecuencia que puede generar que da lugar a filtros muy pesados y voluminosos, para estos casos se opta por utilizar otras técnicas, como son el uso de filtros híbridos, los cuales presentan mejorar las prestaciones del filtro pasivo mediante la utilización de elementos activos.

Al aplicar en forma combinada los filtros serie y paralelo, mejorara las prestaciones del sistema de filtrado de armónicos, pero en una carga no lineal en fuente de corriente, el filtro paralelo se conectara a los terminales de entrada de esta; mientras que el filtro serie

actuara como enlace entre la carga y la red, en una carga en fuente de tensión los filtros serie y paralelo se dispondrán de una manera a la anteriormente descrita; es decir, con el filtro paralelo conectado en el lado de red.

Los filtros pasivos pueden ser diseñados para la compensación de armónicos del sistema de gran potencia con una instalación sencilla más económico que otras mas avanzadas, pero es mucho mas dificultoso o imposible de modificar sus parámetros de sintonización ya que su capacidad de filtrado es severamente afectada por la impedancia de la red, en sistemas complejos pueden aparecer situaciones de resonancia que puede amplificar los armónicos característicos y no característicos de tensión o corriente.

Los filtros pasivos no permiten seleccionar la fuente de armónicos que debe ser filtrado, por lo que se tiene que destruir por sobrecarga originada, por la inyección adicional de armónicos de terceras fuentes.

Los dispositivos electrónicos de potencia permiten el diseño de inversores que actúan como fuente de corriente o fuente de tensión.

La inyección de contra-armónicos en la red mediante estos sistemas electrónicos de potencia da lugar a lo que se conoce como filtros activos, siendo este dispositivo muy versátil, es posible conseguir que la respuesta frecuencial del sistema de potencia sea ideal obteniéndose además el equilibrio de las fases, o la compensación de la potencia reactiva. Sin embargo, el filtro activo es un dispositivo complejo y costoso especialmente cuando trabaja en sistemas de gran potencia, por lo que da lugar a otro tipo de sistemas como es filtros híbridos, donde los inversores de tensión o corriente trabajan en colaboración con los filtros pasivos, mejorando la respuesta frecuencial de estos últimos [18][9].

Los filtros híbridos no pueden ofrecer los mismos funciones que los filtros activos, el correcto diseño y control de los mismos, permitirá obtener excelentes sistemas de filtrado que utilizan inversores de baja potencia basados en topologías convencionales. Dicho diseño hará que se reduzca el costo y la reducción de los armónicos de corriente o tensión.

La topología de un filtro híbrido depende del tipo de filtro **pasivo** utilizado, del tipo de **inversor** y del tipo de **carga** a acondicionar.

4.3 Utilización de filtros híbridos

Para su utilización de los filtros híbridos se deberá evaluar el comportamiento de un filtro híbrido paralelo que responda a la topología de la figura 4.3 que da lugar al sistema de filtrado de la figura 4.4 en este caso, el tanque resonante L – C se sintoniza en el 7ª armónica y la ley de control del inversor es $V_f = K \cdot I_{ish}$, siendo $K = 40$ en la figura 4.5 se

muestran las formas de onda resultantes de la aplicación de este filtro híbrido sobre el sistema.

Sin necesidad de realizar una simulación en especial, se debe intuir en la utilización de filtro híbrido serie si la carga no lineal se comporte como una fuente de tensión y para las cargas de corriente, la acción del filtro serie mejoraría las formas de onda de corriente pero daría lugar que la tensión a la entrada de dichas cargas estaría sumamente deformada. Por lo tanto no es oportuno justificar, ni analíticamente, ni simulación, que la acción combinada de los filtros híbridos serie y paralelo mejorara el filtrado del sistema resultante.

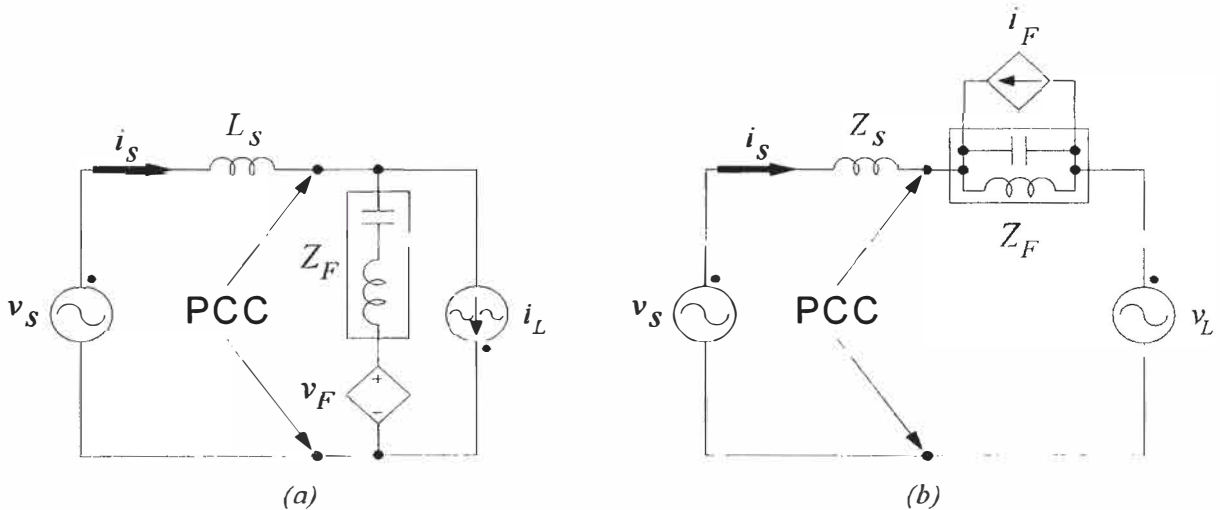


Figura 4.3: Circuito equivalente por fase de varios filtros híbridos

a) Filtro híbrido paralelo (carga en fuente de corriente)

b) Filtro híbrido serie (carga en fuente de tensión)

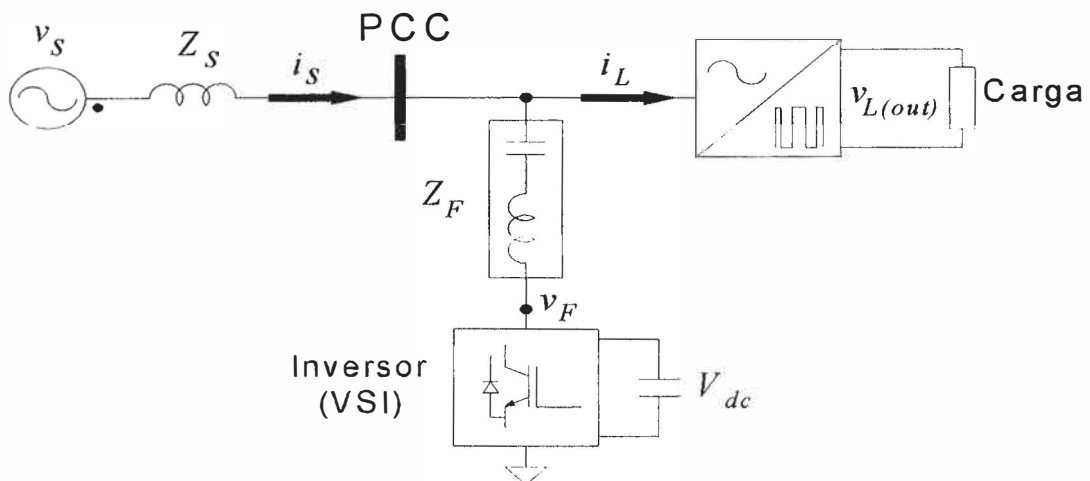


Figura 4.4: Utilización de un filtro híbrido paralelo

Las formas de onda de la corriente de fuente, así como su espectro armónico, revela que el filtro híbrido consigue resultados óptimos en el acondicionamiento de las corrientes solicitadas por las cargas.

Para este caso, la respuesta frecuencial del tanque resonante L-C es menos estrecha que cuando se simuló el caso del filtro pasivo paralelo, por lo que el filtro absorbe una cantidad de corriente reactiva capacitiva de frecuencia fundamental superior a la que se necesita para compensar la potencia reactiva de la carga, esto origina aumento de la componente de corriente de frecuencia fundamental que circula por el lado de la fuente.

Se puede ver la acción del filtro híbrido paralelo ha disminuido considerablemente la impedancia vista desde la carga para las frecuencias armónicas. Si se considera la carga constituida por un rectificador con elevada capacidad en el lado de continua este se traduce en elevados valores de cresta en la corriente de entrada.

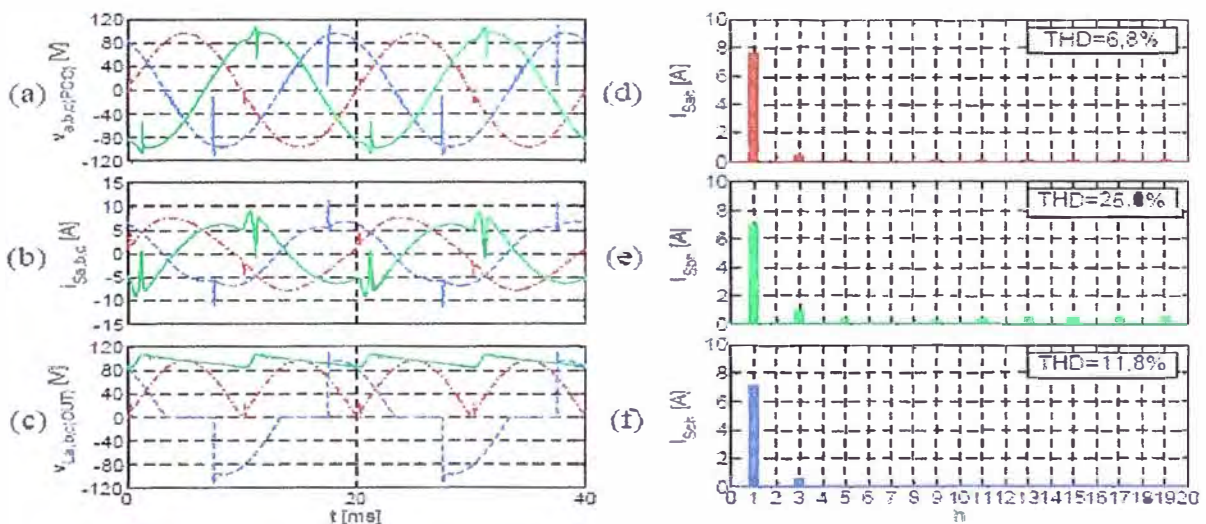


Figura 4.5: Tensiones, corrientes usando un filtro híbrido paralelo sintonizado al 7° armónico y una ganancia $k=40$

Para las cargas de fuente de corriente, la acción de dicho filtro serie mejoraría las formas de onda de corriente de la red, pero daría que la tensión de entrada de dichas cargas estuviese sumamente deformada, el cual daría lugar a disfunciones de las mismas.

Con la presentación de las técnicas de filtrado se describirán brevemente los filtros activos. El filtro activo es una fuente de tensión o corriente controlable que se conecta directamente o a través de un transformador al sistema de potencia, en la práctica, dichas fuentes se implementan mediante inversores electrónicos de potencia que trabajan en bucle cerrado, para conseguir la máxima eficiencia en la inyección de la tensión o corriente aportada como referencia.

Con un control adecuado, las fuentes de corriente o tensión se pueden comportar como impedancias prácticamente ideales, ofreciendo respectivamente una impedancia nula o infinita a determinadas frecuencias, con lo que teóricamente se podría conseguir una atenuación absoluta de los armónicos de corriente generados por la carga, lógicamente el comportamiento real del sistema de filtrado diferirá en cierta medida del ideal debido a las limitaciones inherentes de los convertidores y del control aunque la calidad de las corrientes finalmente resultantes en el lado de la fuente superara con creces los niveles establecidos por la normativa de compatibilidad electromagnética.

El control de los filtros activos se puede realizar en el dominio frecuencial, analizando la frecuencia de la perturbación armónica e inyectando selectivamente los contra armónicos correspondiente, la elevada velocidad de respuesta de este tipo de filtros permite el diseño de sistemas que trabajan en el dominio temporal, con lo cual se lograra la compensación de perturbaciones **transitorias** y **no periódicas**.

En la configuración de filtrado según la figura 4.6 permite, limitar la circulación de corrientes armónicas, aislar a la carga de las perturbaciones de tensión existentes en el lado de la fuente, esta acción permite que el dispositivo conocido sea el restaurador dinámico de tensión, debido por la alta velocidad de respuesta, que es capaz de proteger a la carga de las perturbaciones, permanentes y transitorias, que pueden aparecer en la red, como son los huecos de tensión originados por fallas fase-fase o fase tierra en un punto cercano de la red.

De acuerdo lo expuesto se procederá y evaluara el comportamiento de un filtro activo en el acondicionamiento de las corrientes del sistema

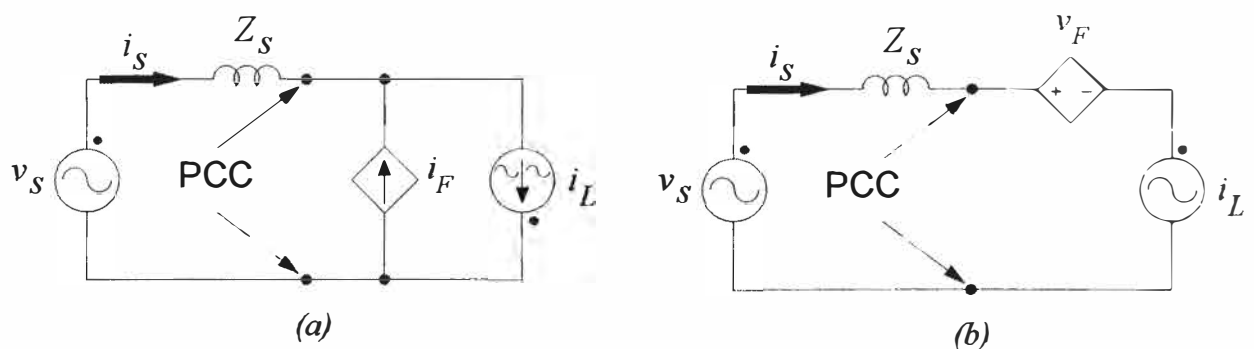


Figura 4.6: Circuito equivalente de filtros activos

(a) Filtro activo paralelo (carga en fuente de corriente)

(b) Filtro activo serie (carga en fuente de tensión)

4.3.1 Utilización de filtros activos

De acuerdo al expuesto se utilizara un filtro activo en derivación como se muestra en la figura 4.7, la fuente de corriente controlable se obtiene mediante un inversor en fuente de tensión regulado en corriente, el cual utiliza una inductancia relativamente pequeña para su enlace a red.

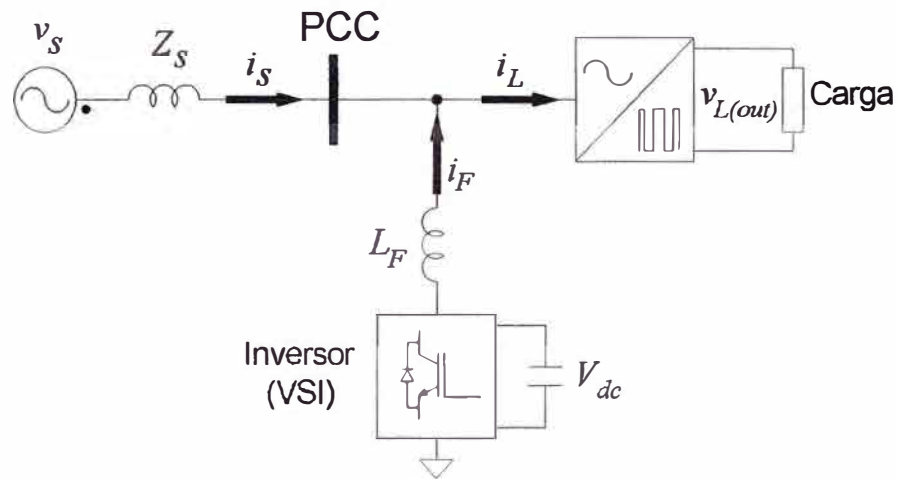


Figura 4.7: Utilización de un filtro activo en derivación

Como resultado de la utilización de filtro activo paralelo en la figura 4.8 b) se puede ver en los espectros de las formas de onda de corriente resultantes en el lado de la fuente. Aquí el filtro activo además de cancelar la circulación de corrientes armónicas esta compensando exactamente la potencia reactiva asociada a la carga, y esta equilibrando las corrientes en los diferentes fases del sistema trifásico.

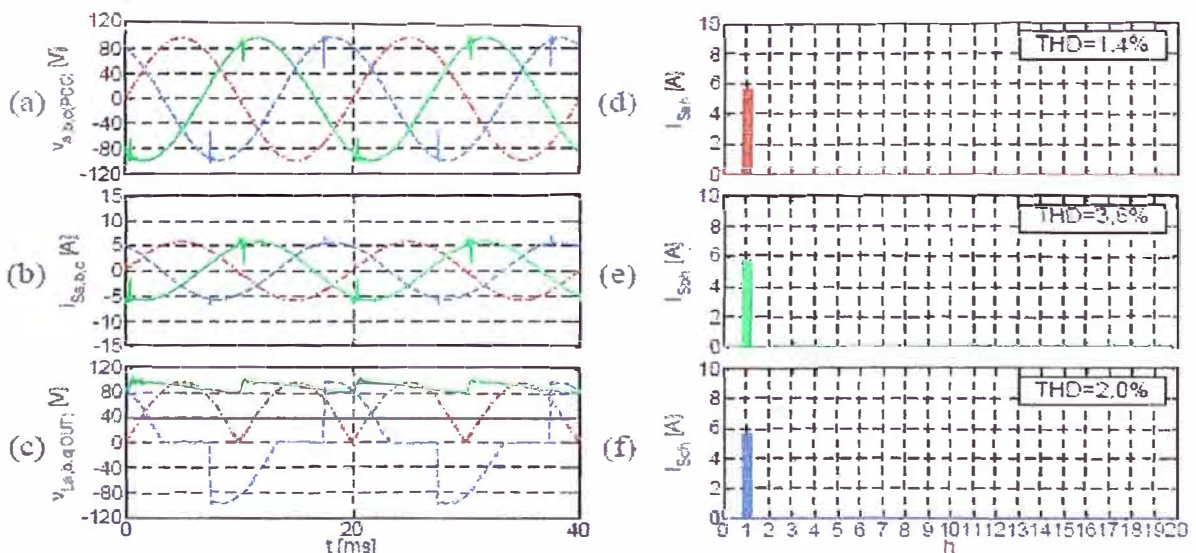


Figura 4.8: Tensiones, corrientes usando un filtro activo en derivación

Al utilizar el filtro activo paralelo se debe tomar las precauciones correspondientes, cuando entre las cargas a acondicionar existe algún rectificador con un filtro capacitivo en el lado continuo; si el rectificador se encuentra próximo al punto de conexión y los bornes de entrada del rectificador, será mínima como resultado la impedancia a frecuencias armónicas, por lo que la corriente de carga del condensador del lado de continua presentara una elevada pendiente de subida puede dar lugar a un valor pico a la vez resulte destructivo tanto para el rectificador como para el filtro. En la figura 4.8 c) se ve la forma de onda de tensión tipo diente de sierra a la salida del rectificador capacitivo con un flanco de subida prácticamente vertical. La inserción de una pequeña inductancia limitadora conectada en serie con las cargas en fuente de tensión resuelve este problema.

La combinación de filtros activos serie y paralelo da a lugar a sistemas universales de acondicionamiento con excelente prestaciones, lo cual garantizan tanto la circulación de corrientes sinusoidales equilibradas en el lado de la fuente como la inmunidad de la carga ante perturbaciones de red, como se muestra en la figura 4.9 el sistema de la figura 4.6 a) se denomina acondicionador unificado de calidad de potencia (UPQC – Unified Power Quality Conditioner) [10][23], el inversor en fuente de corriente se encargara del acondicionamiento de las corrientes de carga, mientras que el inversor en fuente de tensión se encargara obstaculizar la circulación de armónicos de corriente hacia la red, y de la cancelación perturbaciones de tensión en la carga, en el caso que se interrumpa la alimentación por parte de la red, el inversor de corriente puede ser reconfigurado para trabajar como inversor de tensión, pasando a comportarse como un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS – Uninterruptible Power Suplí). Para que se pueda mantener a lo largo de tiempo es preciso que exista una fuente adicional de energía en el sistema de filtrado que puede ser a través de baterías.

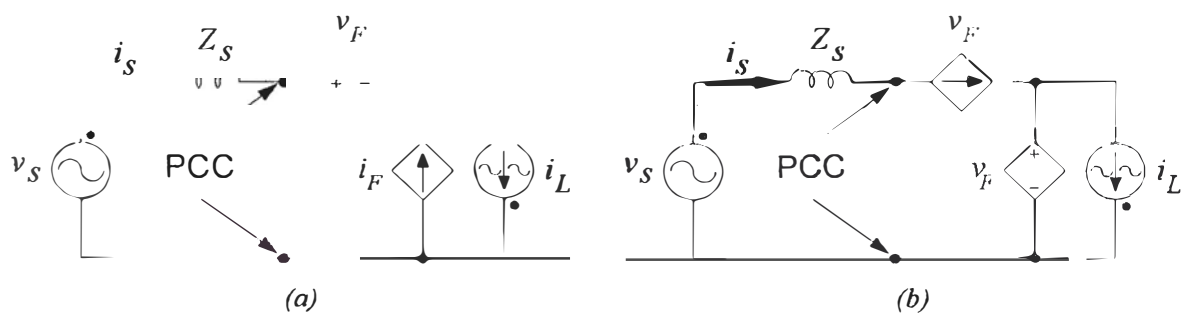


Figura 4.9: Circuito equivalente por fase de acondicionadores activos universales
 (a) Acondicionador unificado de calidad de potencia (UPQC) (b) Sistema de alimentación ininterrumpida interactivo con la red (LIUPS)

CAPITULO V

APLICACIÓN DE FILTRO HIBRIDO EN LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS PLASTICOS

5.1 Introducción

El trabajo se efectuó en la planta industrial de productos plásticos, ubicado en Huachipa distrito de Ate Vitarte Lima Perú, dicha industria cuenta con cinco líneas de producción.

El sistema eléctrico de uno de los tableros de baja tensión de 440 V del transformador (A) de 1250kVA que alimenta a un grupo de maquinas impresoras salía fuera de servicio (por anomalías en el sistema), para la empresa ha resultado en la parte técnico-económico negativo y para detectar dicha anomalía, se instalo un equipo de medición (el analizador de redes eléctricas marca Circutor AR5) durante dos días, periodo que fue suficiente para detectar las anomalías del sistema eléctrico de la planta industrial.

La realización del diagnóstico de calidad de servicio de la red de suministro eléctrico de la empresa, partió del monitoreo de su comportamiento que permitió identificar eventos potencialmente perjudiciales, como la existencia de distorsiones armónicas de corriente, el cual se detalla en el proceso de análisis.

Para disminuir los resultados perjudiciales en la operación de equipos y sistemas se han empleado, filtros adecuados para disminuir la incidencia de armónicos de corriente en la red eléctrica, atendiendo las particularidades del sistema en estudio.

El incremento de las cargas no lineales en los sistemas eléctricos hace que sea más necesaria la caracterización de las instalaciones desde el punto de vista de generación de armónicos. Es decir, establecer los armónicos típicos, los niveles de distorsión, los rangos de variación de las cargas perturbadoras etc., teniendo en cuenta las pérdidas del sistema y la corrección del factor de potencia. En la actualidad a pesar de existir ya un nivel considerable de aplicación de los filtros para la absorción de armónicos, resulta necesario establecer criterios y evaluar de forma independiente los diferentes casos que se presentan en las redes eléctricas de cada industria, considerando los conceptos y tomando distintos

enfoques de estos problemas, con vista a reducir los costos de las medidas correctivas es garantizar una buena calidad del suministro.

5.2 Objetivo

El objetivo principal del presente trabajo es disminuir la tasa de distorsión armónica presentada en el sistema en estudio para tal fin se empleo el equipo de medición “anализador de redes” Marca Circutor modelo AR5, se utilizo para registrar, grabar y luego determinar si los valores de los parámetros eléctricos y armónicos en el punto de medición están dentro de los límites referenciados en las normas indicados anteriormente.

5.2.1 Datos referenciales del sistema eléctrico de la planta industrial de plásticos

Para el diagnóstico y el análisis del sistema eléctrico de la planta industrial de plásticos se tiene los siguientes datos:

a. Datos históricos de consumos y demandas

Reporte correspondiente de los meses y años (Dic.2008 al Nov.2009)

Tabla 5.1: Datos históricos de consumos y demandas

	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov
Kwh- -FP	52110	202126	272076	216534	193210	74220	171024	136792	171318	129474	157118	355866
kWh - HP	11556	48388	59248	49830	45486	20292	36370	31674	38912	30618	42138	78318
Max - kW	591	699	590.4	533.4	465.5	423.6	476.6	516.06	514.2	550.2	717.6	1058

- **Análisis del consumo de energía eléctrica**

Tabla 5.2: Cuadro de análisis de consumos y demandas

mes	diciembre	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre
EHFP	52110	202126	272076	216534	193210	74220	171024	136792	171318	129474	157118	355866
EHP	11556	48388	59248	49830	45486	20292	36370	31674	38912	30618	42138	78318
Mdmes	591	699	590.4	533.4	465.5	423.6	476.6	516.06	514.2	550.2	717.6	1058
CT	0.15	0.53	0.77	0.72	0.75	0.37	0.59	0.47	0.58	0.43	0.45	0.57
PAGOS	19027.98	74871.60	99023.44	79608.72	71339.53	28246.98	61984.24	50349.75	62831.84	47847.00	59552.02	106592.42

Del resultado del análisis de los datos históricos de consumos y demandas de energía eléctrica anotada en la tabla 5.1 sobre el consumo mensual que realiza la planta industrial de productos plásticos, se ha calculado la calificación tarifaria, los pagos mensuales que se realiza por el consumo de energía eléctrica mostrado en la tabla 5.2, también se grafica el comportamiento del sistema eléctrico de la planta industrial, como el consumo de energía activa en horas punta, en horas fuera de punta, calificación tarifaria, facturación respecto al tiempo (meses) y la potencia vs tiempo, a continuación se muestran los siguientes gráficos indicados.

Variación de Energía Activa en Horas Punta

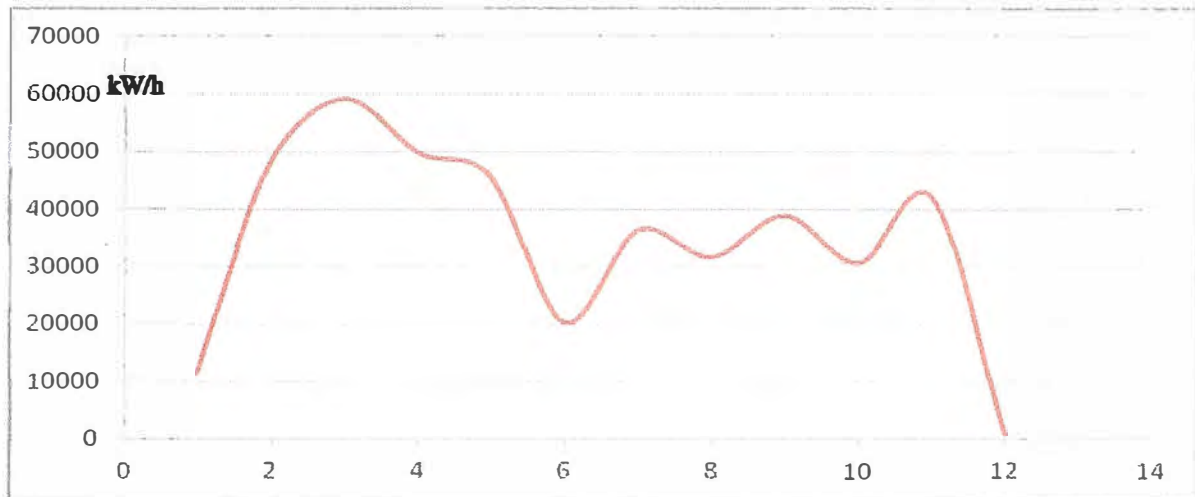


Figura 5.1: Variación de energía activa en kWh vs Meses **Meses**

Variación de Energía Activa en Horas Fuera de Punta

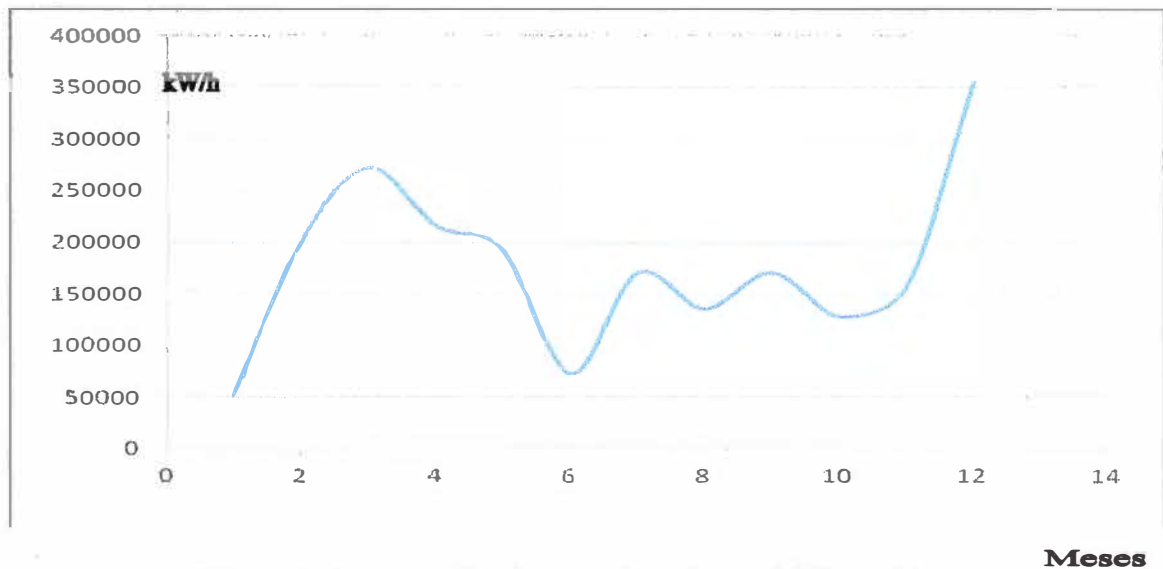


Figura 5.2: Variación de energía activa en kWh vs Meses **Meses**

Variación de Energía Activa en Horas Fuera de Punta y Horas Punta

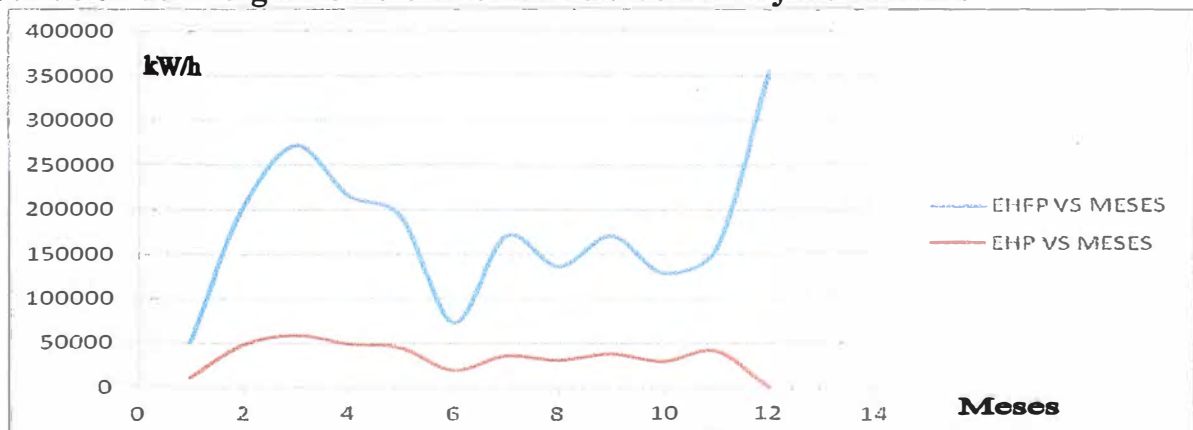


Figura 5.3: Variación de Energía Activa en kWh vs Meses **Meses**

Variación de la Potencia Activa

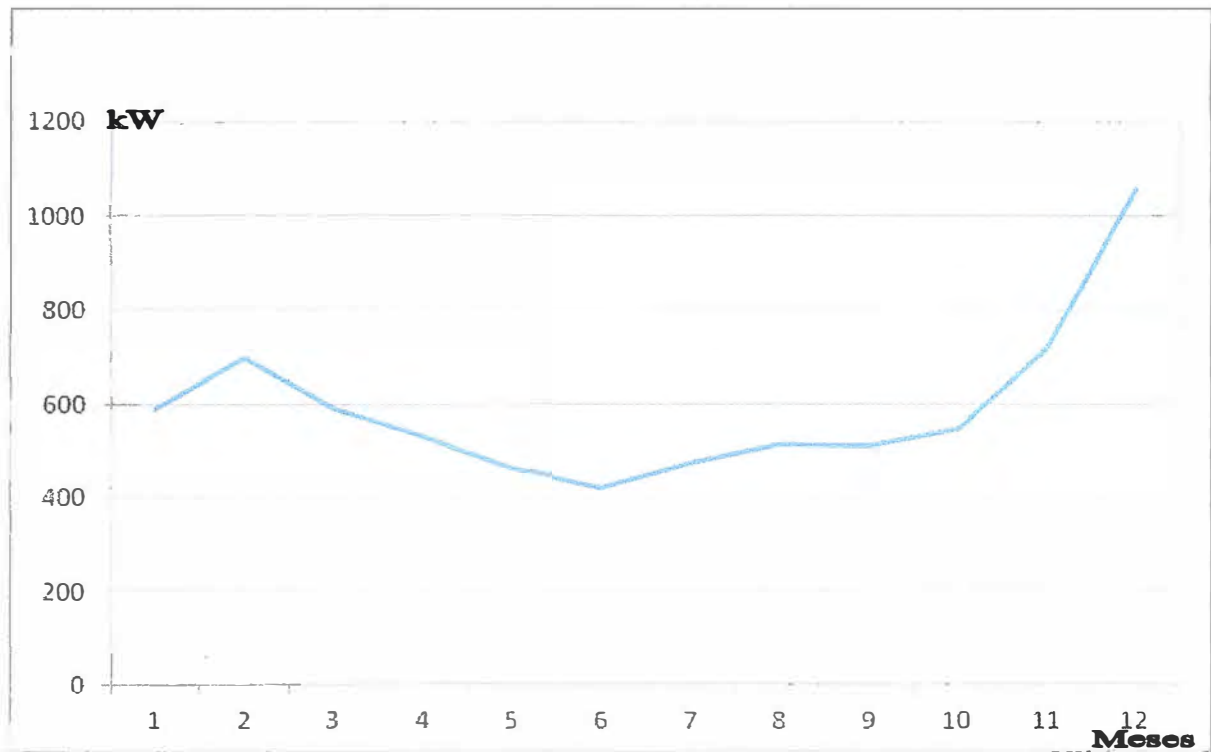


Figura.5.4: Variación de la Potencia Activa vs Meses

Variación de la Calificación Tarifaria

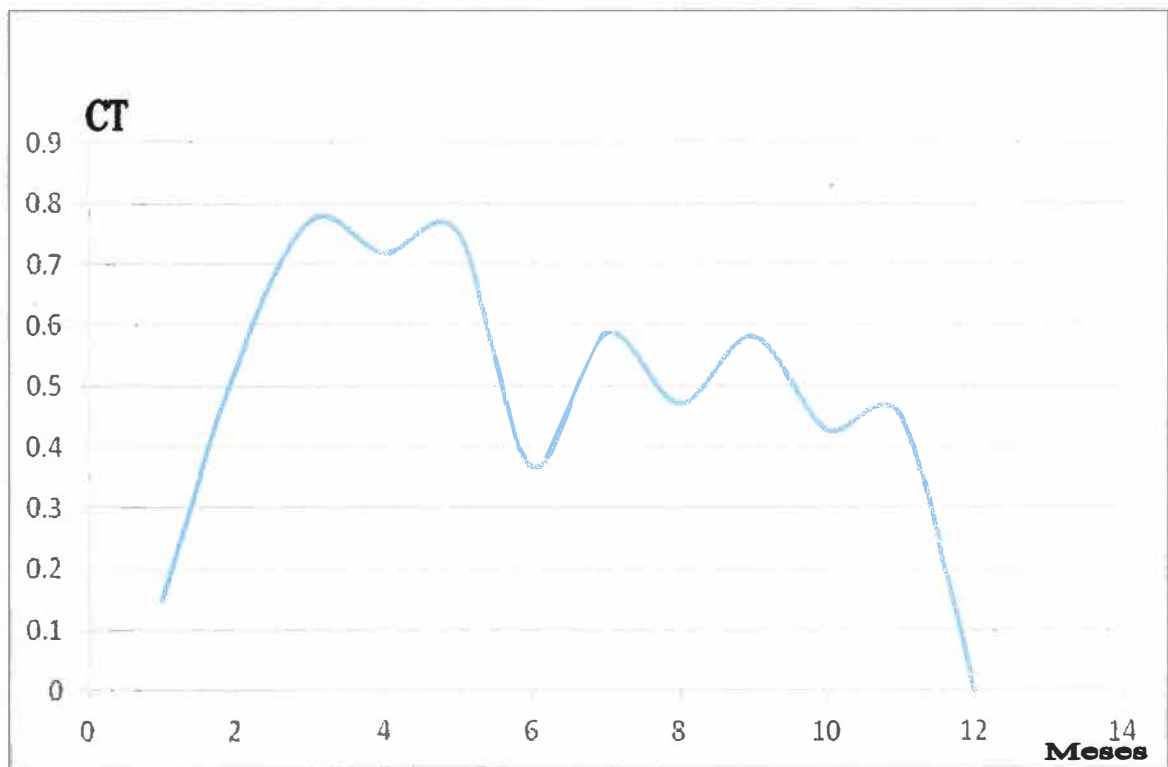


Figura 5.5: Variación de CT vs Meses

Evolución de los Costos de Energía

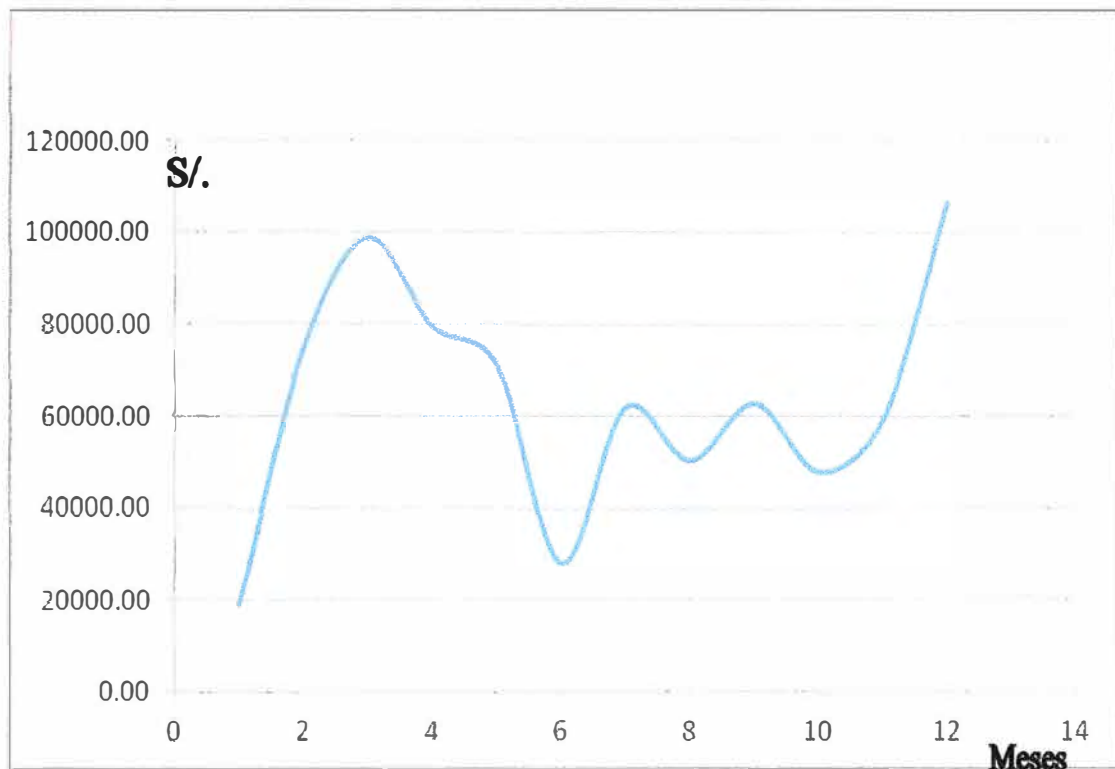


Figura 5.6: Curva de Variación de Costos vs Meses

b. Información Técnica del Suministro

Numero de suministro: 1534442

Sistema: trifásico

Tarifa: MT3 –Potencia leído

Potencia contratada: 950 kW

c. Información Técnica de la SE

Datos de los transformadores (A y B).

Transformador (A), (Ver Plano IE-01 Diagrama unificar de carga)

Marca: ABB/ OLC INGENIEROS

Potencia: 1250kVA

Grupo de conexión: YNyn6-Dyn5

Tensión: 22 900-10 000/460-230 V.

• Transformador (B)

Marca: ABB/OLC INGENIEROS

Potencia: 500kVA

Grupo de conexión: YNyn6

Tensión: 22 900/230 V.

- **Sistema de Punto de medición (plano IE-01)**

Secundario del transformador (A) en 460V AC de 1250 kVA.

d. **Normas referenciales**

- Código Nacional de Electricidad utilización Norma Técnica de calidad de servicios eléctricos (NTCSE)
- IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente.
- IEEE 519 Límites en la Distorsión de voltaje

5.3 Descripción y metodología de los trabajos

Consiste en la instalación de un equipo de medida "anализador de redes Marca **Circuitor Modelo AR5**", con periodo de integración de 10 minutos, el cual se instaló en uno de los tableros de baja tensión de 440V AC que alimenta a las maquinas impresoras, que registró y grabó información durante 02 días, el periodo de medición se inicio el día sábado 9 de enero hasta el lunes 11 de enero del 2010, los parámetros eléctricos que registro son los siguientes:

- Tensión AC trifásica, V_{pp} , V_{pn} .
- Corriente AC trifásica, I_{max} , I_{min} .
- Potencia activa, trifásica, máx., min.
- Diagrama de carga.
- Máxima demanda energética.
- Armónicos de tensión hasta el orden 50.
- Tasa de distorsión armónica de tensión THDV
- Armónicos de corriente hasta el orden 50.
- Tasa de distorsión armónica de corriente THDI
- Forma de onda (tensión y corriente).
- Frecuencia eléctrica.
- Factor de potencia inductivo.
- Factor de potencia capacitivo.
- Potencia reactiva trifásica, máx., min.
- Energía activa trifásica.
- Energía reactiva trifásica.

Dichos parámetros se adjuntan en anexos para su análisis respectivo de su comportamiento de cada caso de la distorsión armónica.

5.3.1. Análisis de datos recogidos

a. **Tensión (Norma NTCSE)**

Tensión permitida

Tensión promedio: 457.72V

Tabla 5.3: Análisis de datos de tensión

PERIODO	TENSIÓN MÁXIMA(V)	TENSIÓN MÍNIMA(V)	MÁXIMO PERMITIDO(V)	MÍNIMO PERMITIDO(V)
			462	418
11/01/2010 09:40 a.m.	467.1	-	NO CUMPLE	-
10/01/2010 5:10:00 a.m.	-	439.42	-	CUMPLE

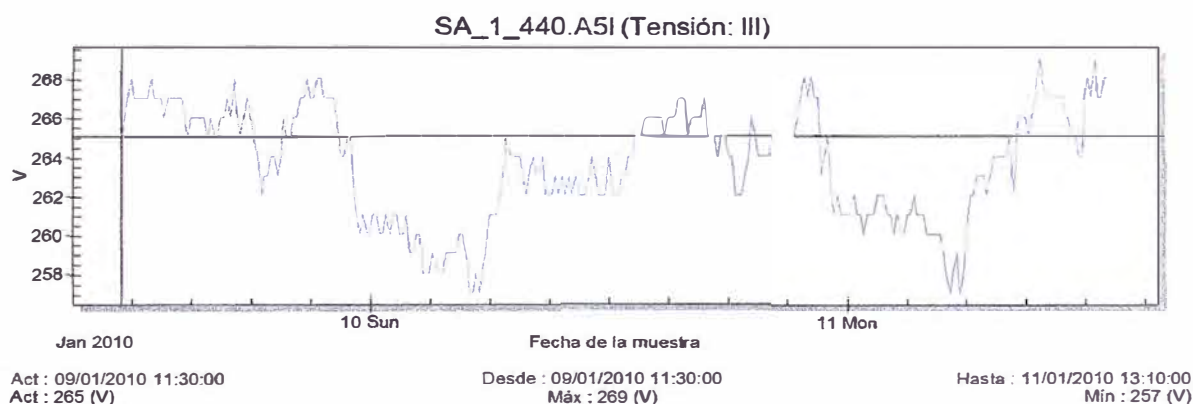


Figura 5.7: Espectro de tensión

b. Frecuencia (Norma NTCSE)

Tabla 5.4: Análisis de frecuencia

PERIODO	FRECUENCIA MÁXIMA(Hz)	FRECUENCIA MÍNIMA(Hz)	MÁXIMO PERMITIDO(Hz) (fx-fn)x100/fn	MÍNIMO PERMITIDO(Hz) -(fx-fn)x100/fn
	60.36	59.64	0.6%	-0.6%
11/01/2010 1:50 a.m.	60.4	-	NO CUMPLE	-
11/01/2010 2:20:00 a.m.	-	59.6	-	CUMPLE

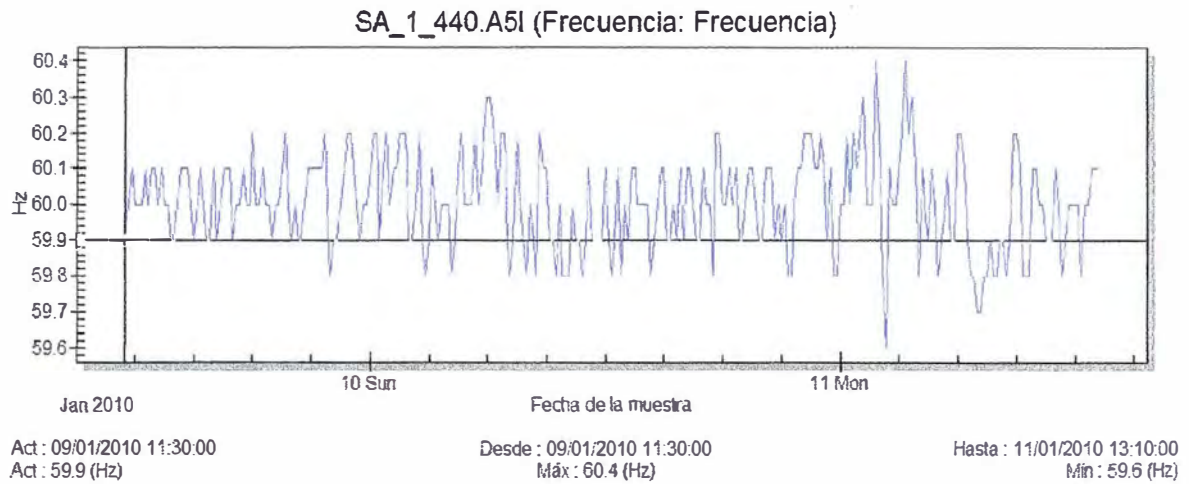


Figura 5.8: Espectro de frecuencia

5.3.2 Armónicos (Norma IEEE 519 92)

a. Tasa de distorsión armónica de corriente (THDI%)

- Lineamientos para clientes individuales

Tabla 5.5: Lineamientos para clientes individuales

ISC	IL	ISC/IL
70kA	673	104.0

IL: corriente total a frecuencia fundamental.

ISC: corriente de cortocircuito

- Tasa de distorsión armónica de corriente
(Para condiciones con periodos menores a 1h)

Tabla 5.6: Tasa de distorsión armónica de corriente menor a 1hora

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MAXIMO THDI% PERIODOS MENORES A 1H
			22.5%
L1	10/01/2010 3:00 a.m.	31.7%	NO CUMPLE
L2	11/01/2010 2:20 p.m.	36.7%	NO CUMPLE
L3	10/01/2010 5:00 a.m.	32.4%	NO CUMPLE

- **Tasa de distorsión armónica de corriente**
(Para condiciones con más de una hora de duración)

Tabla 5.7: Tasa de distorsión armónica con mayor a 1 hora

FASES	PERIODO	THDI% MÁXIMO	MÁXIMO THDI% PERIODOS MAYORES A 1H
			15%
L1	09/01/2010 17:10 p.m. HASTA 09/01/2010 18:00 p.m.	26.1%	NO CUMPLE
L2	09/01/2010 16:10 p.m. HASTA 09/01/2010 17:00 p.m.	27.6%	NO CUMPLE
L3	10/01/2010 2:30 a.m. HASTA 10/01/2010 03:30 a.m.	29.4%	NO CUMPLE

- **Tasa de distorsión armónica de corriente**
Para armónicos de corrientes impares individuales.

Tabla 5.8: Tasa de distorsión armónica impares individuales

ISC/IL	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0
	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

- b. **Tasa de distorsión armónica de tensión (THDV%)**
- **Tasa de distorsión armónica de tensión**

(Para condiciones con periodos menores a 1h)

Tabla 5.9: Tasa de distorsión armónica con periodos menor a 1 hora

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDV% PERIODOS MENORES A 1H
			7.5%
L1	11/01/2010 10:20 A.m.	7%	CUMPLE
L2	11/01/2010 11:40 A.m.	7.2%	CUMPLE
L3	11/01/2010 10:20 A.m.	6.4%	CUMPLE

- **Tasa de distorsión armónica de tensión**

(Para condiciones con más de una hora de duración)

Tabla 5.10: Tasa de distorsión armónica mayor a 1 hora

FASES	PERIODO	THDV% MÁXIMO	MÁXIMO THDV% PERIODOS MAYORES A 1H
			5%
L1	09/01/2010 17:20 p.m. HASTA 09/01/2010 18:40 p.m.	5.9%	NO CUMPLE
L2	09/01/2010 13:30 p.m. HASTA 09/01/2010 14:30 p.m.	6.0%	NO CUMPLE
L3	09/01/2010 22:50 p.m. HASTA 09/01/2010 23:50 P.m.	5.5%	NO CUMPLE

Los datos registrados de los siguientes gráficos se encuentran en los ANEXOS.

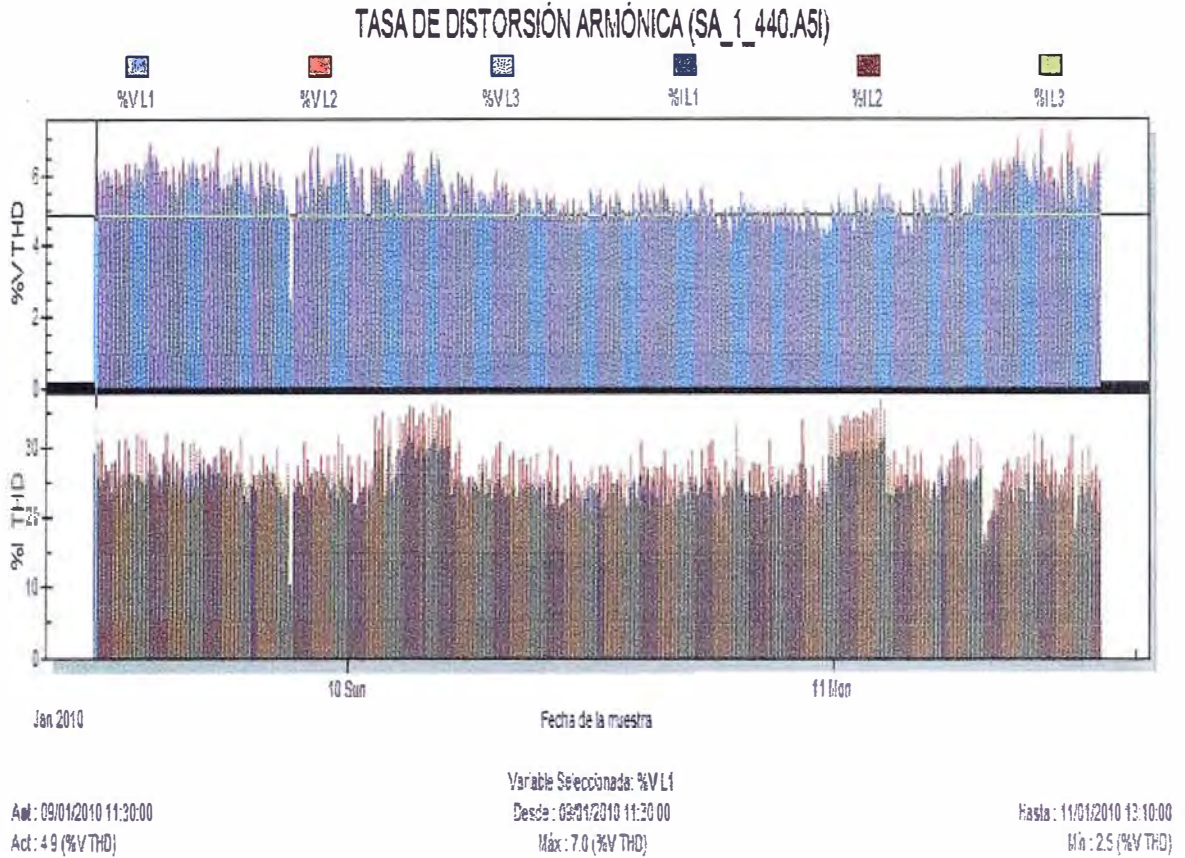


Figura 5.9: Tasa de distorsión armónica de tensión y corriente

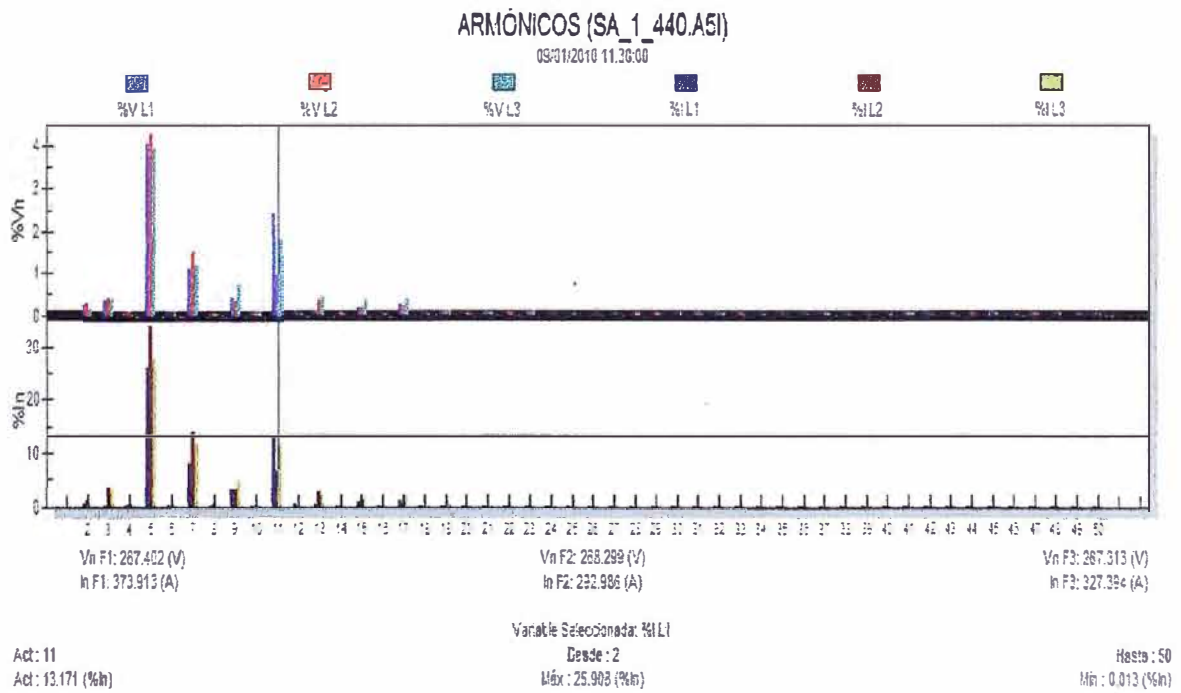


Figura 5.10: Presencia de armónicos en la red

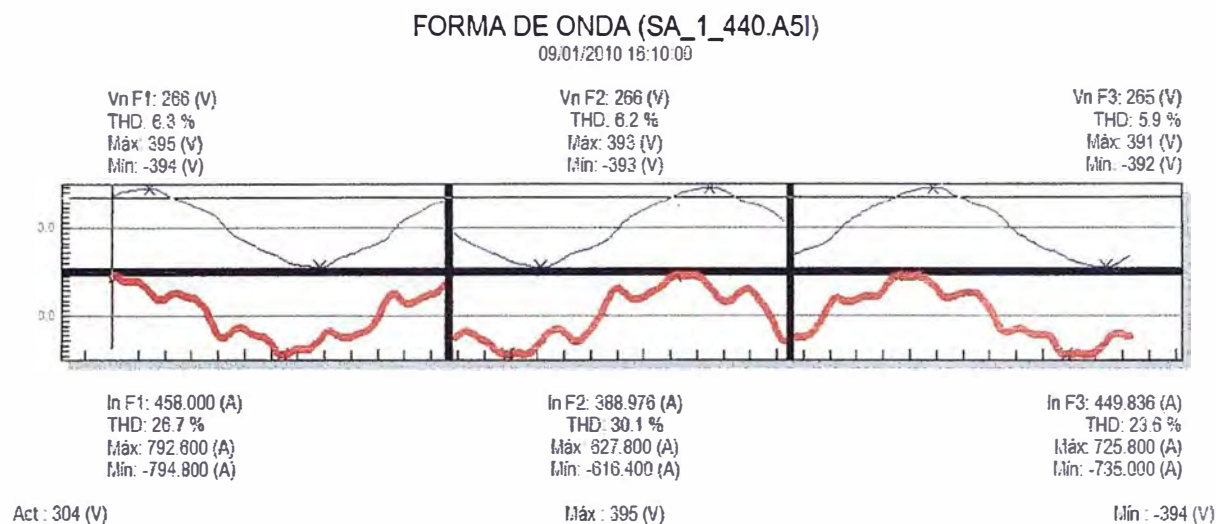


Figura 5.11: Forma de onda de distorsión de tensión y corriente 1

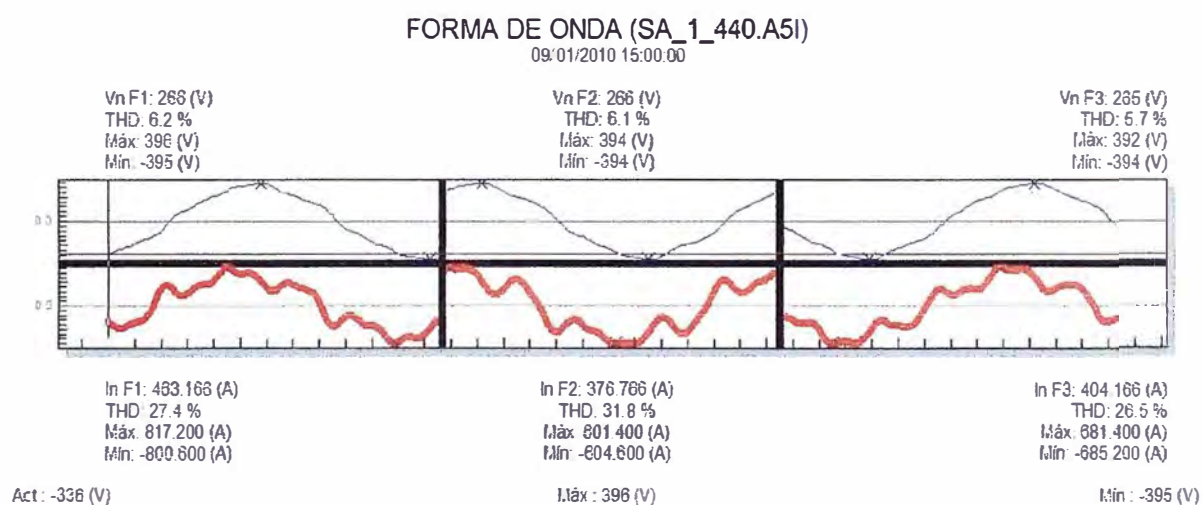


Figura 5.12: Forma de onda de distorsión de tensión y corriente 2

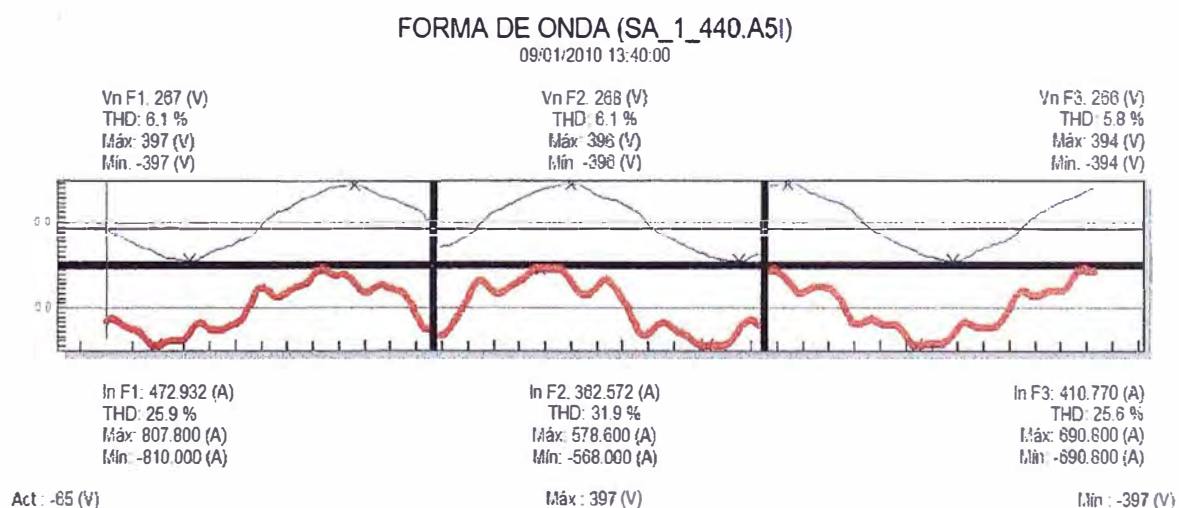


Figura 5.13: Forma de onda de distorsión de tensión y corriente 3

5.3.3 Potencia activa (kW)

Potencia promedio: 323.33kW.

Tabla 5.11: Resultado de potencia activa

PERIODO	POTENCIA MÁXIMA (kW)	POTENCIA MÍNIMA (kW)
-	496	-
-	-	209.76

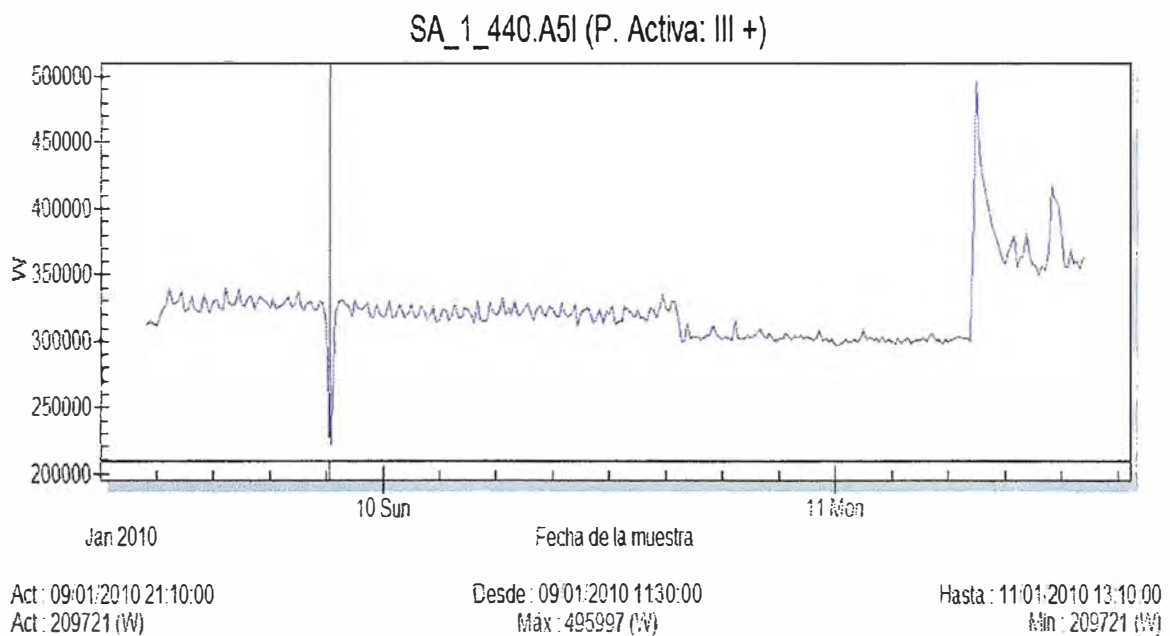


Figura 5.14: Espectro de la potencia activa

5.3.4 Corrientes en las tres fases

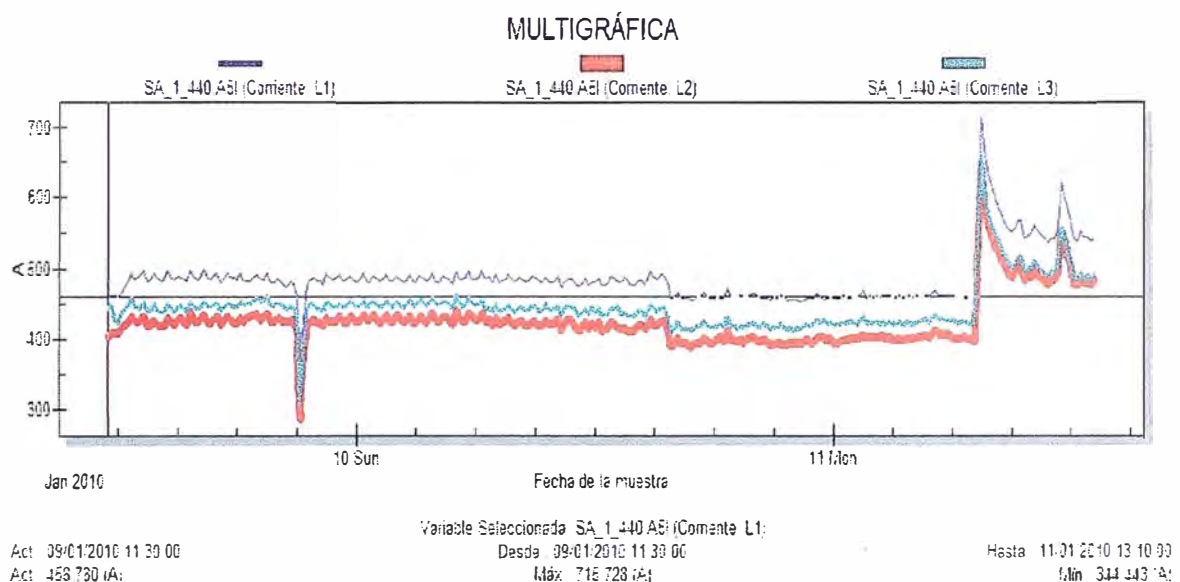
Los valores de las corrientes de las tres fases mostradas en la tabla 5.12 no están balanceados, debido que en la fase L1 la corriente es mayor que de las fases L2 y L3, como también demuestra en el espectro de la figura 5.15.

Corriente Máxima: 715.728^a

Corriente Mínima: 344.443A

Tabla 5.12: Resultado de corrientes de los tres fases

FASES	PERIODO	CORRIENTE MÁXIMA
L1	-	715.7
L2	-	643.4
L3	-	658.4

**Figura 5.15:** Espectro de corrientes de las tres fases

5.4 Modelamiento del sistema y diseño de solución

En el presente informe de suficiencia de acuerdo a los reportes dados por el analizador de redes, donde se puede ver que existe armónicos de corriente de 5to.7mo y 11avo orden que produce las distorsiones en el sistema eléctrico de la planta industrial, problema generado por el usuario, lo cual se debe compensar con filtro adecuado para reducir los armónicos de corriente. Siendo el filtro híbrido en paralelo con la carga no lineal ya que el costo es menor en comparación con el filtro activo puro.

Para el desarrollo del caso se utilizara la plataforma de simulación y para el modelado se requiere un programa de computadora con características y propiedades mas importantes de algunas herramientas.

Dos cosas pueden hacerse de manera relativamente fácil para dar una solución adecuada al análisis de la distorsión armónica como:

- a) Determinar la frecuencia resonante: Si dicha frecuencia resonante esta cerca de un armónico potencialmente perjudicial, el valor del condensador debe ser cambiado o diseñar un filtro adecuado.
- b) Determinar la tensión de distorsión debido a la corriente I_h : Las tensiones V_h están dados por:

$$V_h = \left(\frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + j\omega RC} \right) I_h \quad (5.1)$$

Donde: $\omega = 2\pi(hf_1)$

$h = 2, 3, 4, \dots$

$f_1 =$ Frecuencia fundamental del sistema.

No todos los casos prácticos pueden representarse como un circuito simple, será mas complejo cuando a este circuito se incremente un condensador, pero utilizando el software el análisis es más rápido.

Para lo cual el analista debe describir la configuración del circuito, cargas y fuentes al programa. Entre los datos que deben ser recolectados incluyen:

- Impedancia del transformador y de las líneas
- Conexiones del transformador
- Valores del condensador y situaciones de trabajo (crítico)
- Espectro de armónicos para cargas no lineales
- Tensión de alimentación

Dichos valores se ajustaran al programa automáticamente las impedancias de acuerdo a la frecuencia y cálculo de flujos de armónicos a lo largo del sistema.

5.4.1 Alternativa de solución

Como existen compensadores se ha visto conveniente para la atenuación y/o reducción de armónicos de corriente en cargas trifásicas no lineales y conociendo el espectro armónico de la intensidad de la carga, emplear los filtros pasivos simples sintonizados de conexión paralela que ofrece una solución económica adecuada al problema generado.

Para la simulación de filtros existen programas informáticos en la actualidad, sin tener que construirlo físicamente, lo que se puede modelar una red eléctrica sometida a una carga lineal a la cual se le implementaran los diferentes tipos de filtro con el objetivo de evaluar el rendimiento de cada alternativa de compensación.

En el diagnóstico realizado se ha ubicado el problema de los armónicos de corriente en el tablero de 440 V del transformador (A) de potencia 1250 kVA que alimenta a un grupo de máquinas impresoras y teniendo un modelo representativo del sistema eléctrico, la solución a proponer la atenuación del problema de distorsión armónica en el transformador indicado, existen varias alternativas que técnicamente son posibles, pero dentro de ello se debe tener en cuenta la evaluación económica.

De acuerdo al análisis de los resultados de la medición si considera el diseño de un filtro pasivo shunt para mitigar el problema, los que ofrecen mejores alternativas como:

- Mejorar el factor de potencia
- Reducir la presencia de armónicos
- Minimizar el impacto sobre los transformadores de alimentación
- Aumentar la potencia disponible

5.4.2 Criterios de diseño del filtro

El objetivo de un filtro de armónicos es disminuir la distorsión de corriente al proporcionar una baja impedancia para los armónicos de corriente, con el fin de prevenir la propagación en el resto del sistema. Esto debe estar condicionado a la ubicación del filtro para que en lo técnico y económico sea lo más adecuado.

El tamaño del filtro está en razón de la potencia reactiva de los condensadores a la frecuencia fundamental.

Los filtros sintonizados son utilizados para los armónicos individuales de bajo orden con magnitudes considerables.

El criterio ideal de diseño es eliminar completamente la distorsión producida por la carga no lineal, aunque el criterio no resulta práctico desde el punto de vista técnico y económico debido a la magnitud y costos de los filtros seleccionados. El criterio práctico consiste en diseñar un filtro para reducir las distorsiones a niveles aceptables de acuerdo a la norma internacional.

De la solución dada se pueden aplicar configuraciones híbridas con filtros pasivos y filtros activos es decir un filtro híbrido paralelo, compuesto por un filtro pasivo en serie con un activo.

5.4.3 Condiciones de los programas de análisis de armónicos

Para el análisis de armónicos en sistemas eléctricos de potencia en un software se debe contar con las siguientes características

- a. Que en el sistema se debe manejar modelos de redes grandes de varios cientos de nodos.
- b. Permitir el manejo de modelos polifásicos de estructura arbitraria. No todos los circuitos especialmente en distribución de utilidad alimentadores, pueden ser modelados de manera exacta como circuitos equilibrados.
- c. En este análisis el modelado de sistemas con modelos de secuencia-positiva, no es necesario construir un modelo trifásico completo.
- d. Se puede hacer el análisis para valores pequeños de frecuencia (ejemplo 10 Hz) para determinar la respuesta en frecuencia del sistema sin importar el dominio y así obtener los de resonancia.
- e. Permitir realizar la solución simultanea de modelos con numerosas fuentes de armónicos para estimar la corriente real y distorsión de tensión.
- f. Poseer herramientas con modelos incorporados de fuentes de armónicos comunes.
- g. Que los modelos de fuentes de corriente y de tensión sean fuentes de armónicos.
- h. Que tenga el fácil ajuste de los ángulos de fase de las fuentes.
- i. Que se pueda acceder al modelamiento de las diferentes conexiones de los transformadores de tensión.
- j. Que el resultado de las simulaciones y análisis sea fácil de entender para el usuario.

5.4.4 Modelado de sistemas

Se tiene las siguientes consideraciones:

En la red eléctrica sin compensación, cuando se conecta una carga no lineal que genera diferentes valores de corrientes armónicas produce un alto grado de contaminación que termina por deteriorar la calidad de la energía eléctrica que transporta, ocasionando problemas de calidad de energía tanto en la carga que produce la distorsión como las cargas que comparten la red eléctrica.

Compensación pasiva paralela para reducir corrientes armónicas; en el análisis realizado de los resultados de la medición en la planta industrial, se ha observado el comportamiento de la distorsión armónica que ocasiona una carga no lineal tanto en la corriente que circula desde el punto de acoplamiento (tablero de 440 V), hacia la carga como la tensión distorsionada en los terminales de la carga no lineal, se ha propuesto un sistema de filtro pasivo de derivación paralela a la carga no lineal, el mismo que posee tres ramas cada una sintonizada a la frecuencia de cada una de las corrientes de distorsión armónica que produce la carga no lineal.

Compensación de distorsión armónica de corriente mediante un filtro híbrido paralelo; de acuerdo a la secuencia realizada para reducir los armónicos existentes en la planta industrial se ha implementado un sistema de filtro híbrido con derivación paralela a la carga, conformado de una

parte pasiva igual al filtro pasivo que se utilizó anteriormente y una parte activa que fue modelada matemáticamente.

5.4.5 Simulación del sistema eléctrico

Para el desarrollo de la simulación de los filtros en el sistema eléctrico se ha utilizado el software **ORCAD PSpice** donde se está considerando los siguientes armónicos con sus respectivos porcentajes:

Armónicos de corriente de 5° orden con 34.2%

Armónicos de corriente de 7° orden con 13.17%

Armónicos de corriente de 11° orden con 13.17%

El circuito equivalente.

Tensión: 440V

Impedancia de la carga: 1.25 Ohm

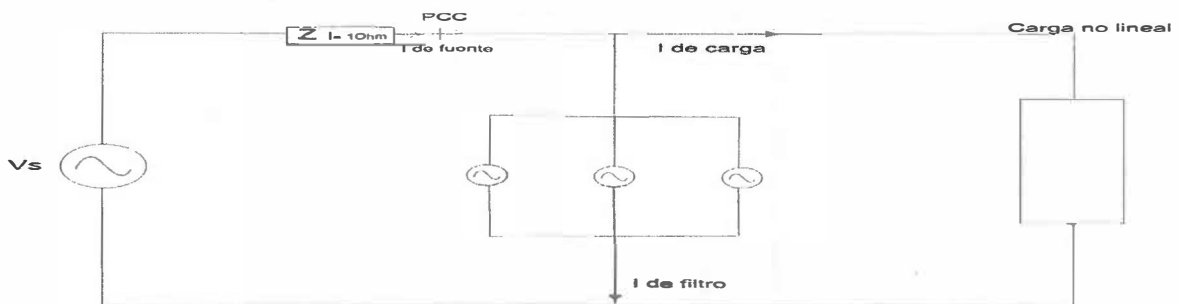


Figura 5.16: Circuito simulado por fuentes de corriente con amplitudes armónicas a frecuencias 300Hz, 420Hz y 660Hz

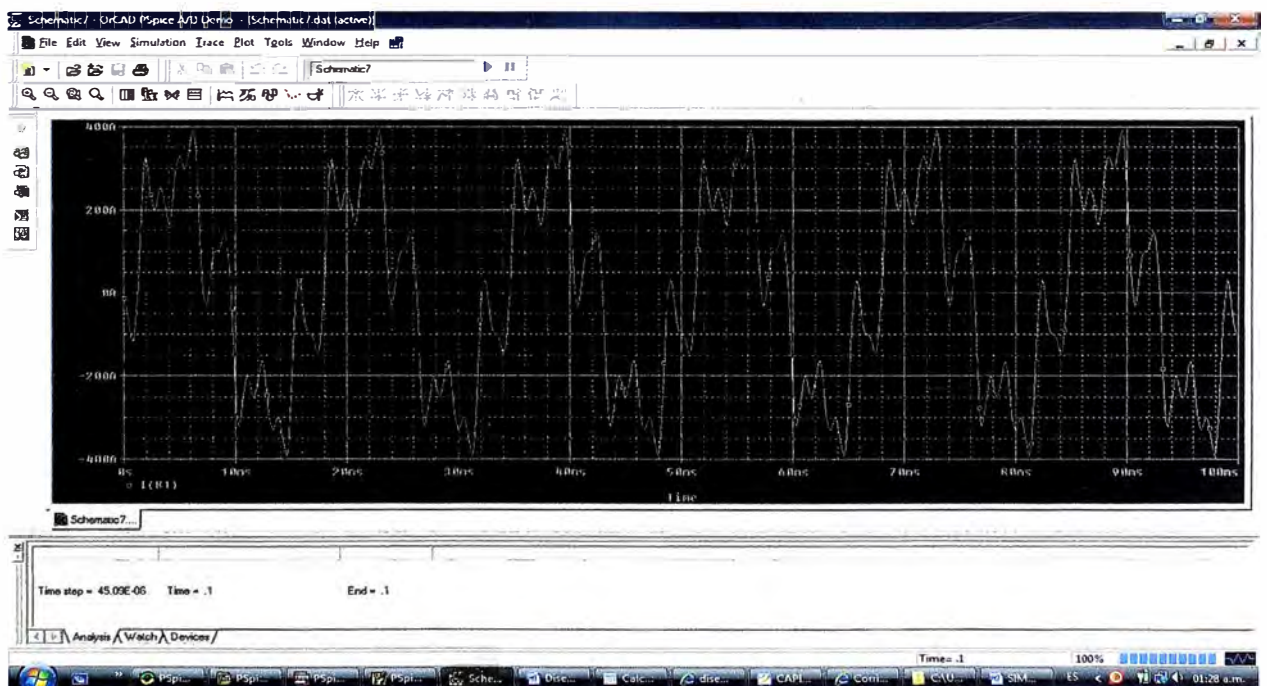


Figura 5.17: Onda de corriente de la carga distorsionada por presencia de armónicos de corriente de 5°, 7° y 11° orden

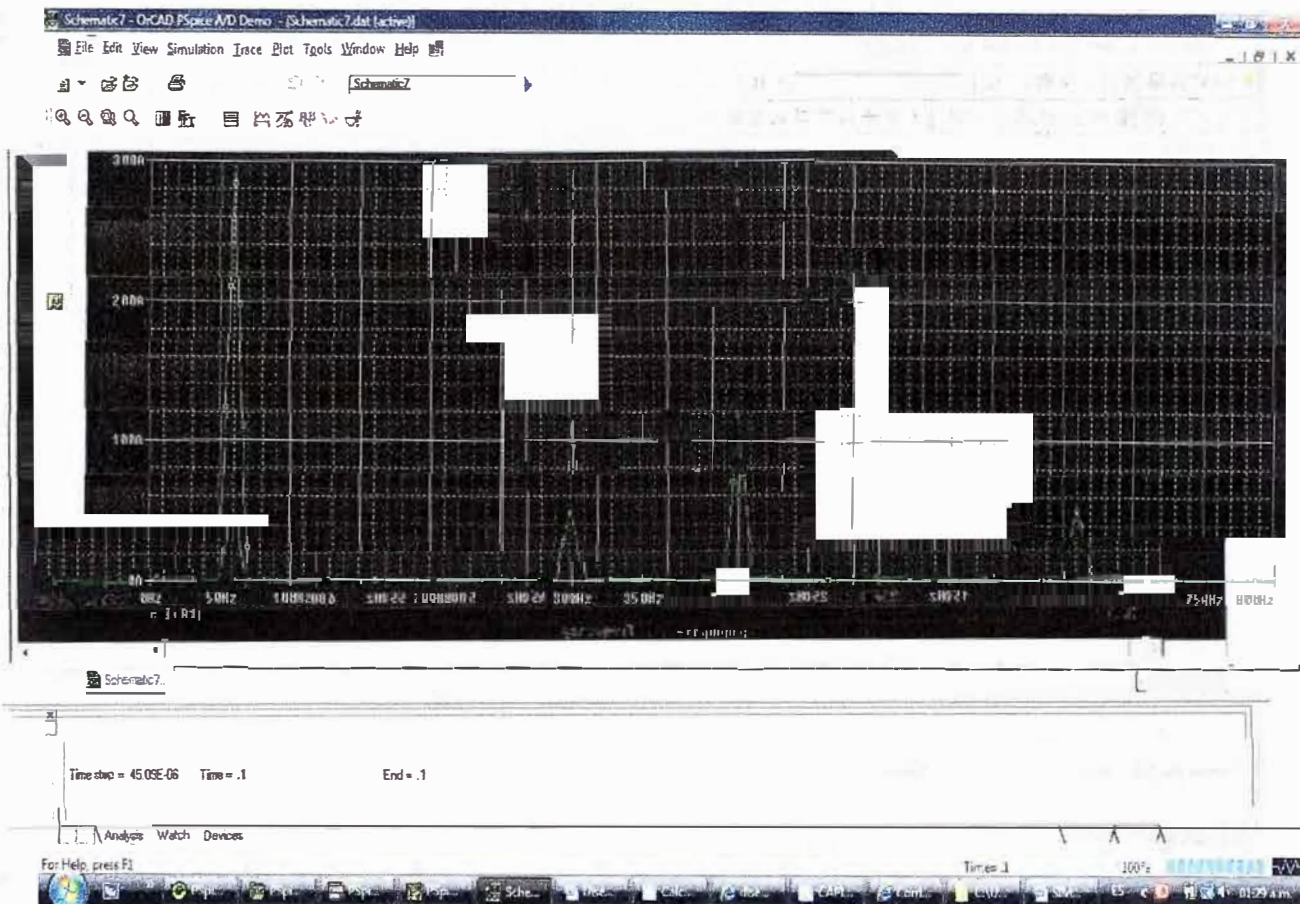


Figura 5.18 Espectro de armónicos de corriente de 5°, 7° y 11° orden

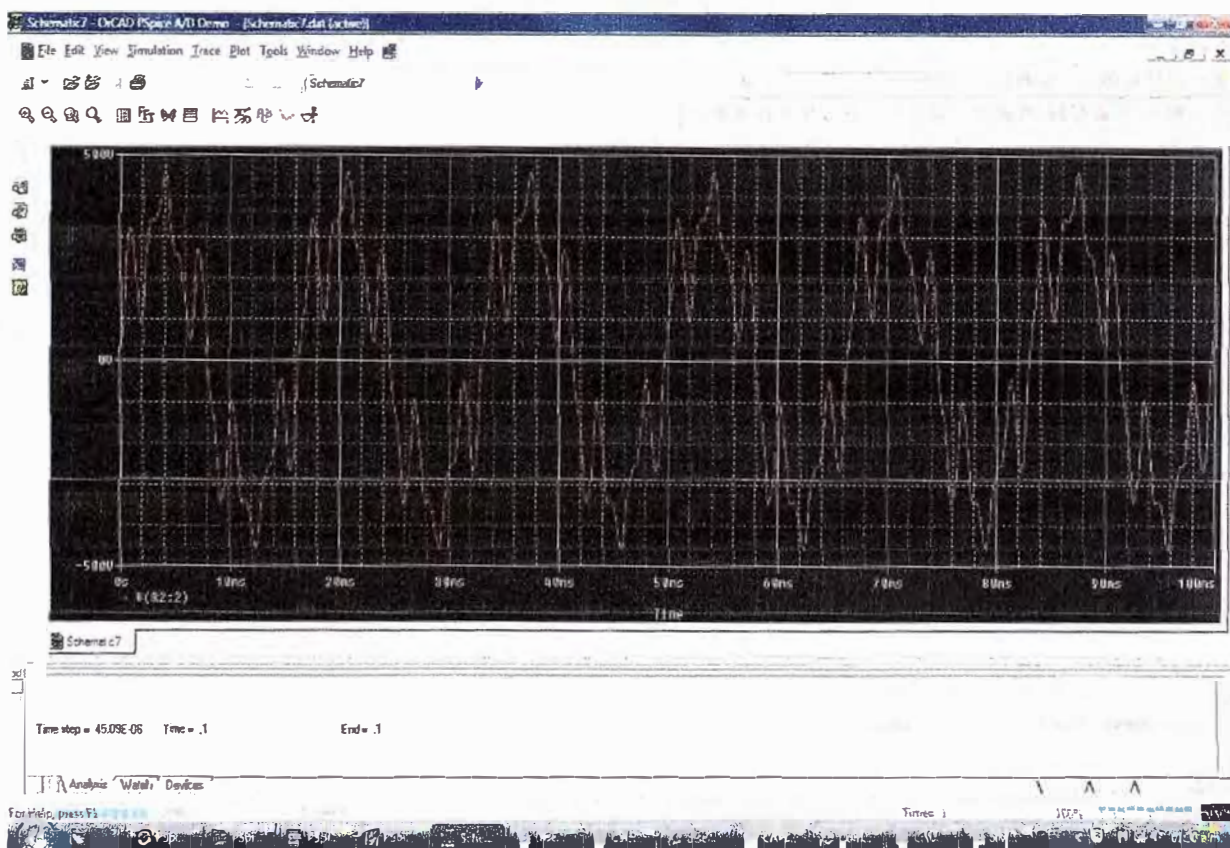


Figura 5.19: Forma de onda de la tensión en la carga

5.4.6 Elección de las características del filtro pasivo

Utilizaremos un filtro pasivo sintonizado simple, para atenuar o disminuir la distorsión armónica de corriente y tensión de una planta industrial, del orden de 5°, 7° y 11° armónico, como se muestra en la figura 5.10, que supera al 20% del THDI, superior al límite referenciado en la norma IEEE 519.

Filtro sintonizado simple:

$$\omega_h = 2\pi fh \quad (5.2)$$

Donde (h) es el armónico al que se quiere sintonizar (w) es la frecuencia angular y (f) es la frecuencia fundamental.

$$x_c = \frac{1}{\omega_c} = \frac{|v|^2}{Q_c} \quad (5.3)$$

Donde X_c es la reactancia capacitiva y Q_c la potencia reactiva que el filtro va a suministrar en cada rama y V es la tensión nominal.

$$C_f = \frac{1}{2\pi f x_c} \quad (5.4)$$

$$L_f = [2\pi 60h \sqrt{C_f}]^2 \quad (5.5)$$

Tabla 5.13: Valores de inductancias, capacitancias y numero de armónicos

n	L_f	C_f
5	0.281Hr	$1\mu f$
7	0.143Hr	$1\mu f$
11	0.058Hr	$1\mu f$

Potencia del sistema

Tabla 5.14: Parámetros de la potencia del sistema

Potencia media	Factor de potencia media	Corriente media	z	r	L
352.88	0.89	530	1.25	1.1	0.00125

Potencia de los armónicos

Tabla 5.15: Parámetros de la potencia de los armónicos

Armónico	Orden 5	Orden 7	Orden 11
Corriente	97.5 A	32.5 A	32.5 A

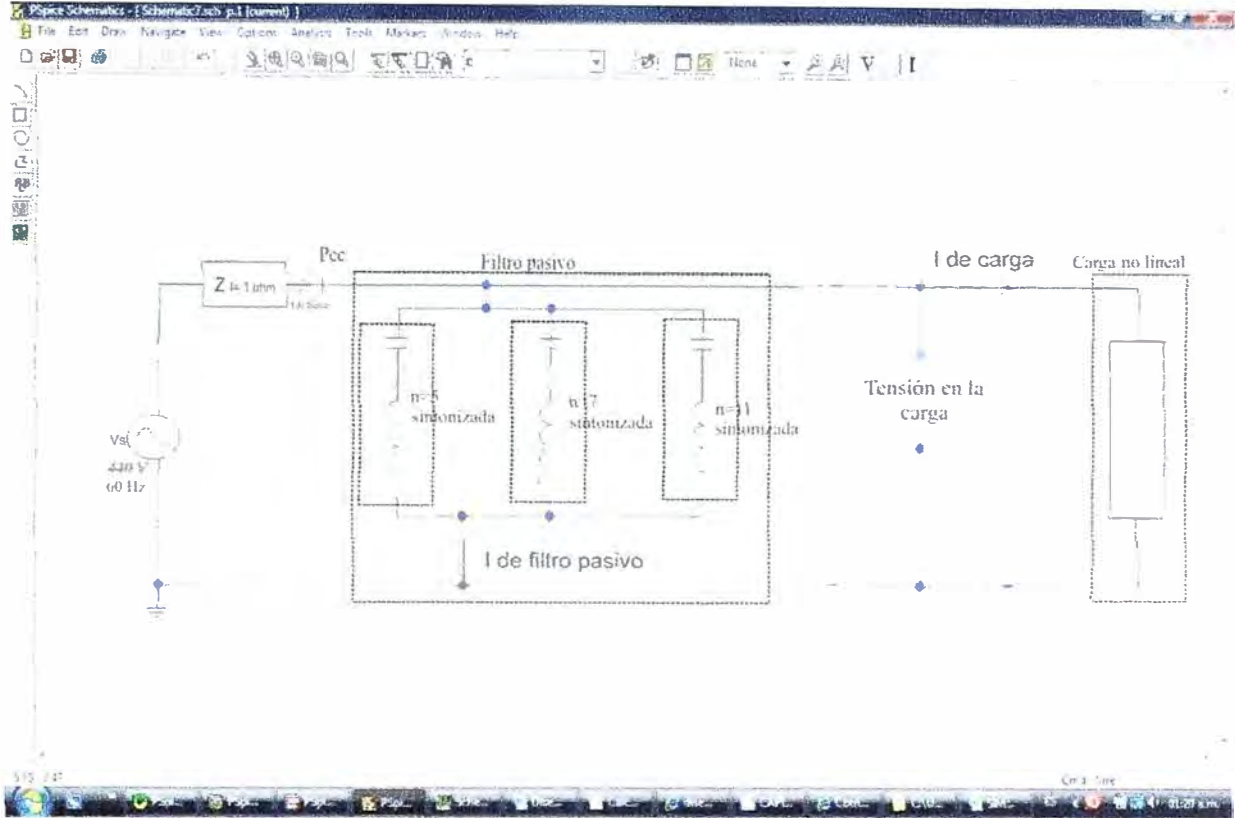


Figura 5.20: Circuito equivalente diseñado con filtros pasivos para reducir armónicos de 5° , 7° y 11° orden

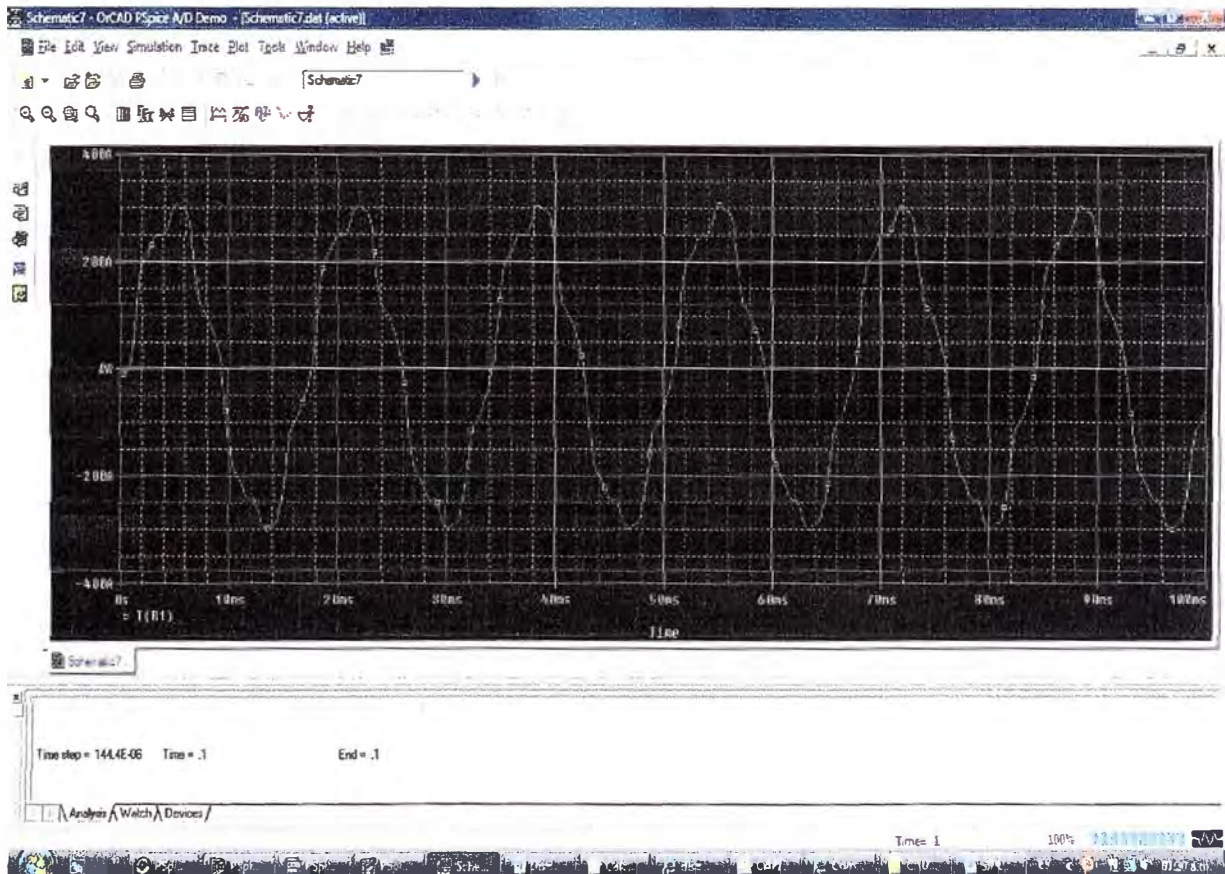


Figura 5.21: Forma de onda de corriente corregida

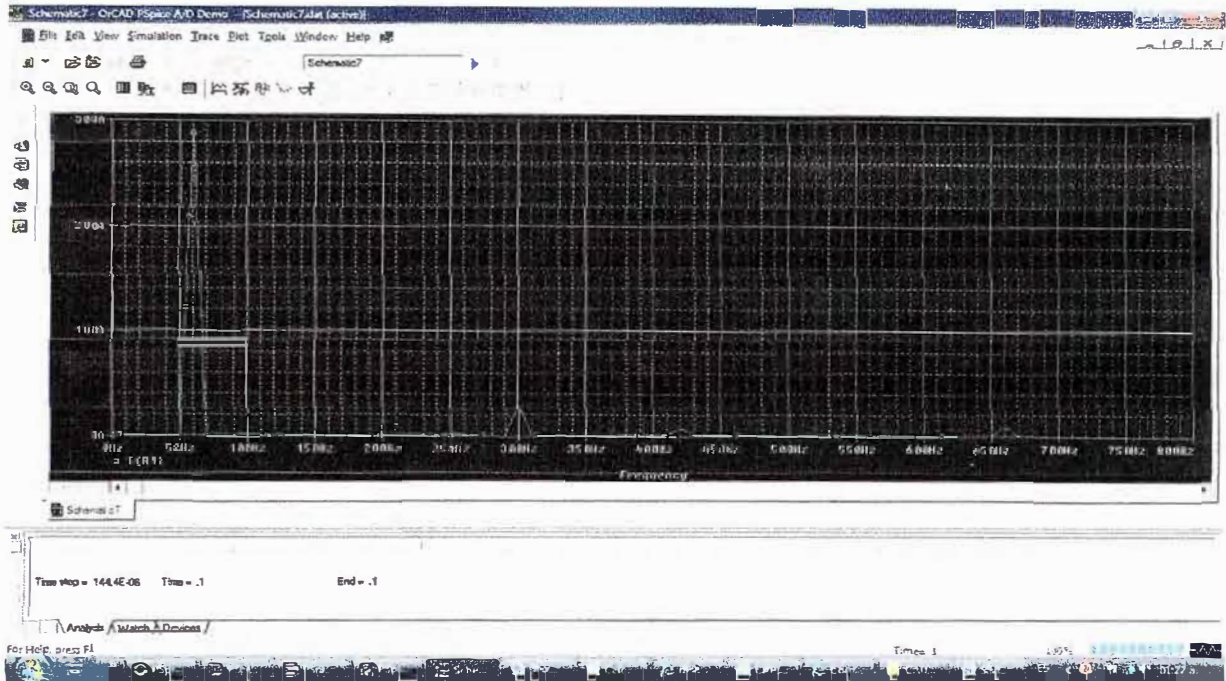


Figura 5.22: Espectro de disminución de la tasa de corriente armónica

En la figura 5.23 se puede apreciar los espectros de THDI al simular la distorsión de la corriente y la disminución de los armónicos de 5° orden en 15.2%, de 7° orden en 5.1% y 11° orden en 5.1% esto demuestra que el filtro diseñado es factible disminuir los armónicos de corriente.

Aun se podrá mejorar la distorsión armónica empleando el filtro activo en los armónicos de 5°, 7° y 11° orden.

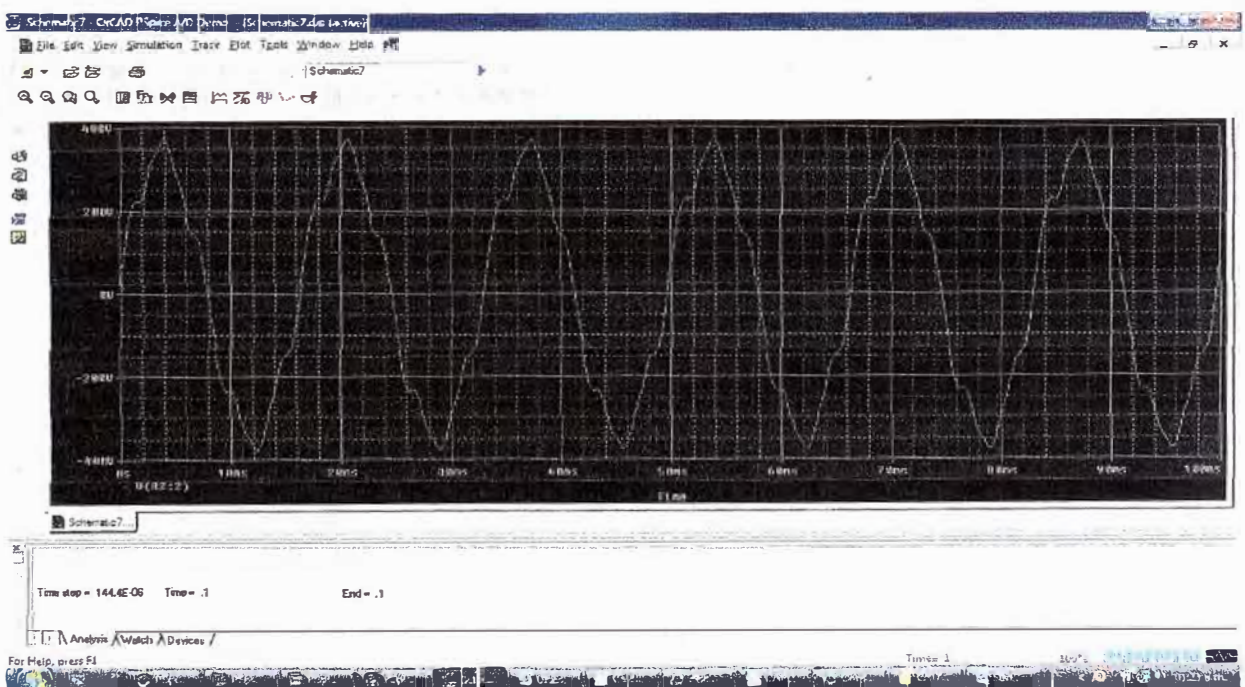


Figura 5.23: Forma de onda de tensión en el PCC de la carga

5.4.7 Compensación de distorsión armónica de corriente mediante un filtro híbrido paralelo

La aplicación del filtro híbrido para el diagrama eléctrico, se ha utilizado el circuito de la figura 5.20, al cual se ha implementado un sistema de filtro híbrido con derivación paralela a la carga, el mismo que consta de un filtro pasivo que se aplicó anteriormente y una parte activa que se simula la distorsión armónica conectada a una red eléctrica compuesta por un filtro híbrido con lo que disminuirá aun mucho mas que con el filtro pasivo, en los armónicos de 5°, 7° y 11° orden.

El elemento activo ayuda con la compensación de corriente para que no se distorsione la corriente en la fuente, para tal efecto se puede apreciar en la topología de la figura 5.24 que en conjunto con el filtro pasivo en serie forma el filtro híbrido en paralelo con la carga no lineal.

El filtro activo indicado generalmente puede ser modelado como una fuente de tensión controlada debido a la utilización de un filtro con características técnicas conocidas, pudiéndose usar también diferentes estrategias para su compensación, si la tensión es proporcional a la corriente armónica de la fuente, entonces se modifica la impedancia del compensador paralelo y por ende mejorara el funcionamiento del filtro pasivo.

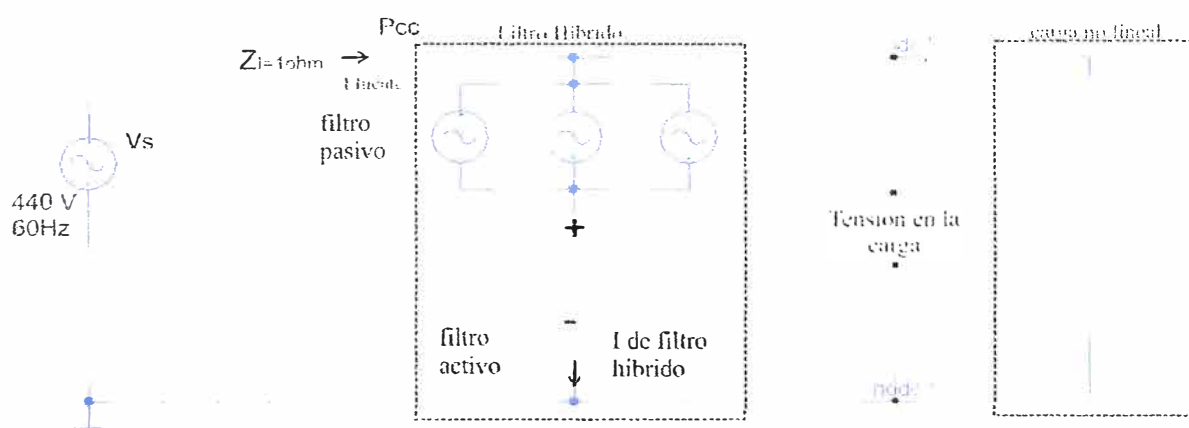


Figura 5.24 Circuito equivalente del filtro híbrido

Para la **simulación del filtro activo** se ha considerado el modelamiento del circuito anterior figura 5.24 y se ha utilizado el filtro de armónico activo Accu Sine Shneider Electric, que cuenta con los siguientes características técnicas:

Una línea simple, que incluye:

- > Potencias de filtrado, 100A
- > Tensión 400V - 480V, 3 fases 3 hilos
- > Normas IEC, UL, CSA, CE, ABS, C-Tick

Desempeño potente:

- > Cumple con los principales estándares de armónicos: IEEE-519-92, G5/4-1, GB/T 14549, IEC61000-3-2/-3-4.
- > Respuesta ultra rápida a los cambios de carga.
- > Cancela todos los armónicos del 2° al 50° orden.
- > Capacidad de inyección instantánea de corriente reactiva del 225%.

Modularidad:

> Se pueden instalar hasta diez unidades en paralelo con el mismo juego de transformadores de corriente.

Windows:

- > Pantalla gráfica QVGA, multi-idioma.
- > Claridad en la operación de botones de marcha y parada.
- > Comunicación Modbus.

Procedimiento de solución:

El filtro activo tipo Accu Sine, inyecta corriente armónica y reactiva para mejorar el factor de potencia total para el sistema de distribución de energía en cualquier instalación, mide la corriente total de carga del sistema, determina la componente fundamental e inyecta a la red la componente armónica de la fase opuesta de tal manera que los armónicos quedan congelados, no se enfoca en frecuencias específicas sino que mas bien crea una forma de onda en tiempo real sobre la base de los aportes de sus circuitos de detección. Independiente a las frecuencias que la corriente de carga no lineal contiene.

En la simulación que se realiza figura 5.25, se puede apreciar la forma de onda de corriente de la fuente.

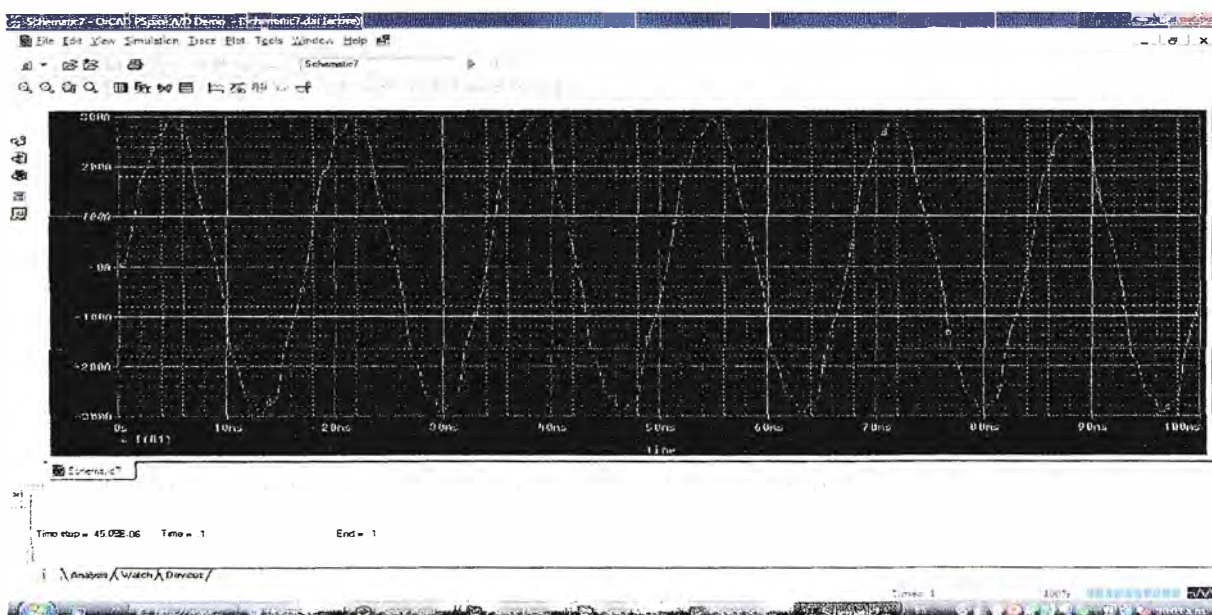


Figura 5.25: Forma de onda de corriente de la fuente

Con las características consideradas del filtro activo Accu Sine se ha mejorado la forma de onda de corriente en la carga, que en conjunto con el filtro pasivo hace el filtro híbrido figura 5.26.

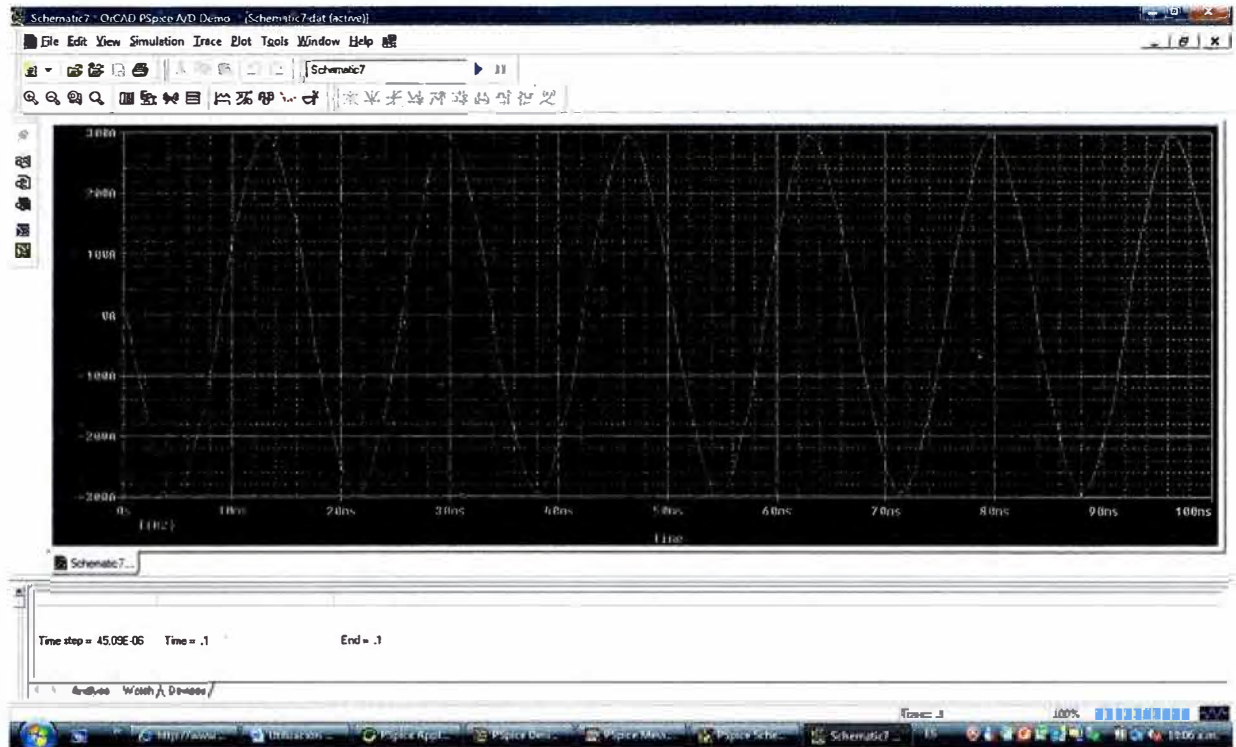


Figura 5.26: Forma de onda de corriente en la carga

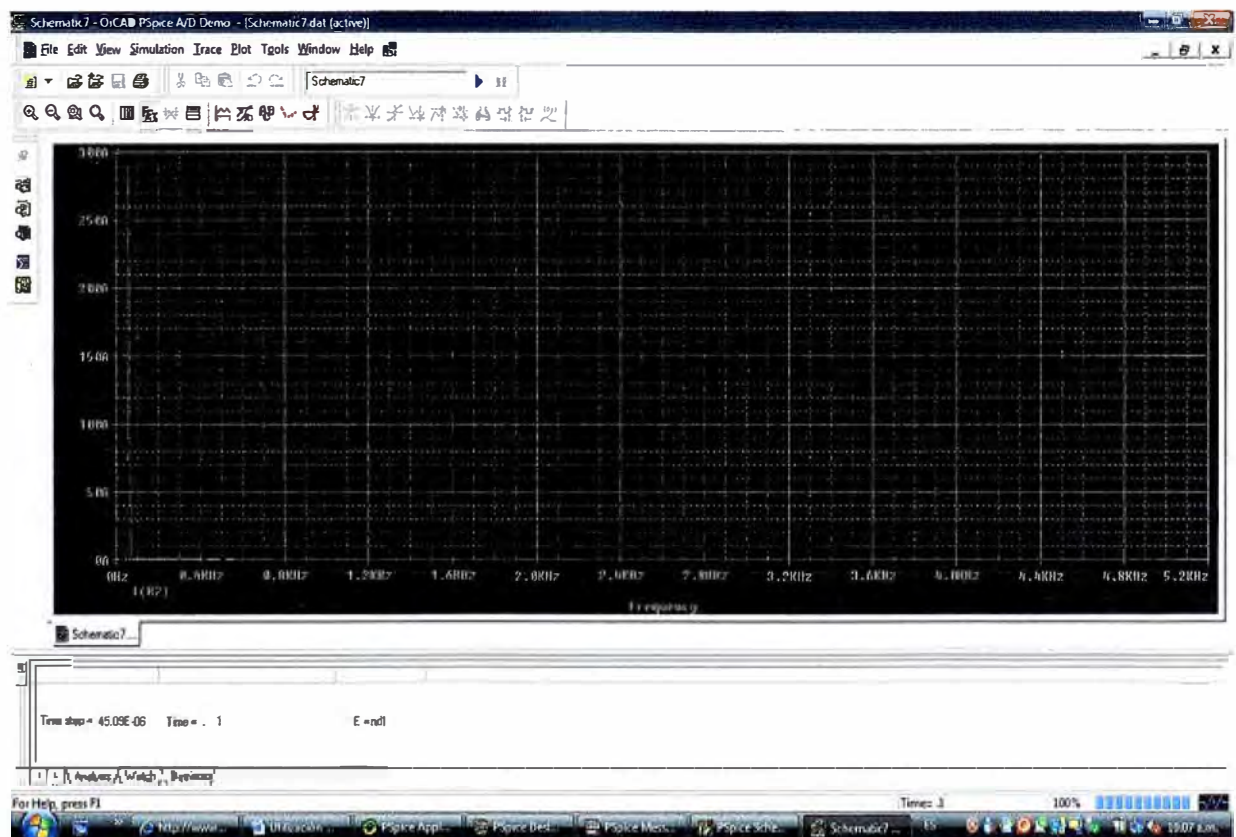


Figura 5.27: Espectro de armónicos de corriente en las cargas reducidas por el filtro híbrido

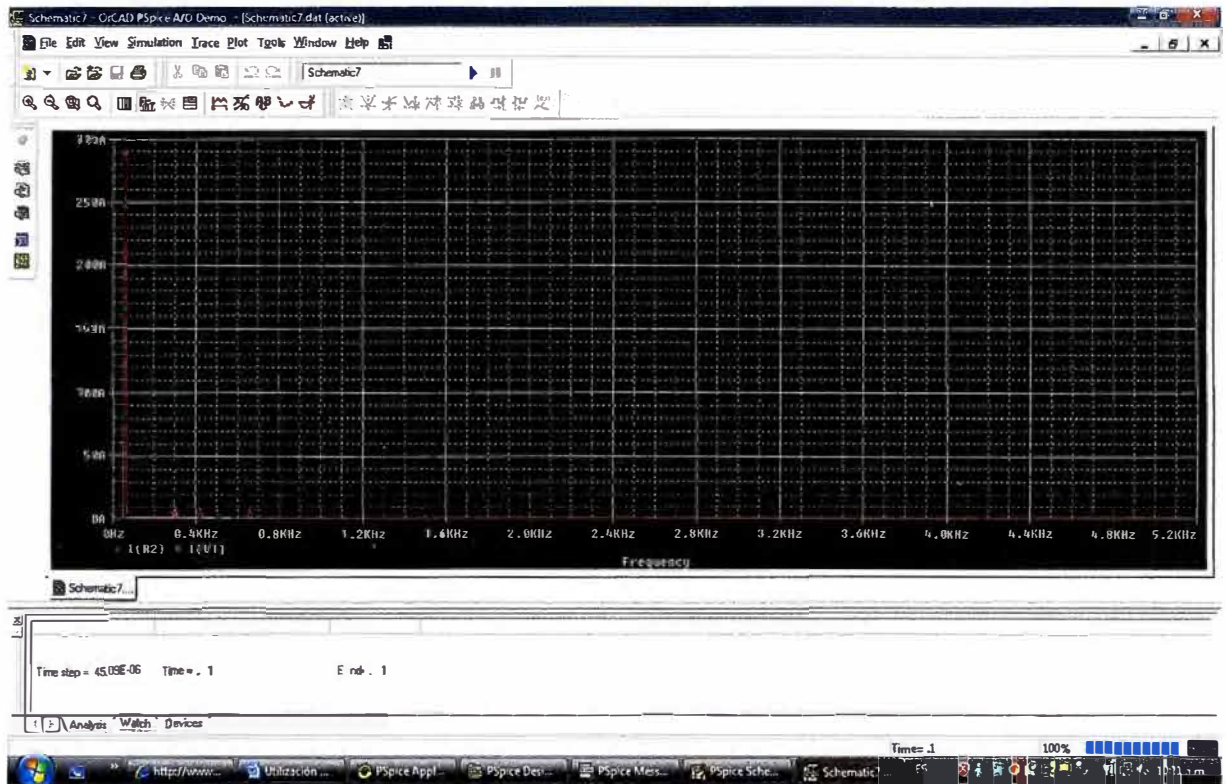


Figura 5.28: Espectro de armónicos de corriente en la fuente reducida por el filtro híbrido

En la simulación en todos los estudios se observó que el compensador híbrido de potencia presenta mejores características al eliminar distorsión armónica de corriente en una red eléctrica de baja tensión, producida por las cargas no lineales, donde se acopla la parte pasiva y además complementa una parte activa de una menor potencia que en el caso del compensador activo puro.

En las figuras 5.27 y 5.28 según los gráficos los armónicos de corriente en la carga y corriente en la fuente reducidos por el filtro híbrido, cumple un papel importante el filtro activo que es un dispositivo para mejorar los armónicos, donde al simular, la distorsión armónica total (THDI), la disminución de los armónicos es considerable donde el armónico de 5° orden baja a 5%, de 7° orden a 3% y 11° orden a 3%, esto demuestra que el **filtro híbrido** asignado cumple una función importante en la disminución de los armónicos de corriente.

5.4.8 Compensación de distorsión armónica de corriente con filtro activo paralelo

En la planta industrial medido, si el filtro híbrido perdiera su parte pasiva para la compensación de distorsión armónica de corriente, entonces si se considera puramente activo, este resultado ocasionaría que la fuente de tensión controlada, que es el principal del filtro activo, obliga a tener un manejo de potencia elevado, la fuente de tensión entra en contacto directo con la red eléctrica y la carga no lineal.

Para ilustrar este efecto se ha simulado el diagrama de la figura 5.29 en el cual se puede observar la carga no lineal conectada a una red eléctrica la que posee un filtro puramente activo

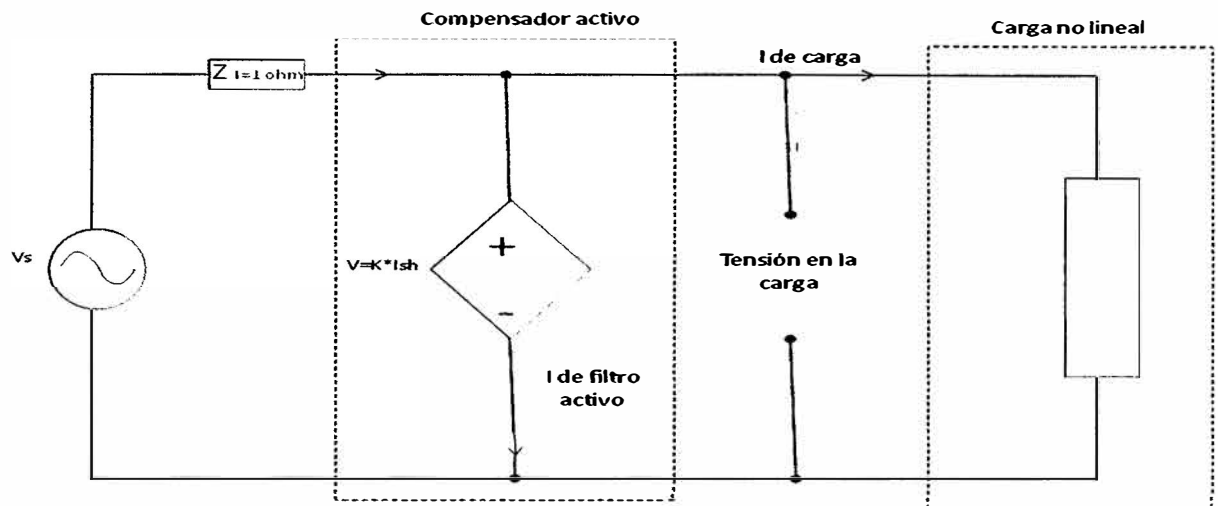


Figura 5.29: Diagrama eléctrico, carga no lineal con filtro activo en paralelo

En el filtro híbrido sin la parte pasiva, la fuente de tensión controlada por la corriente de distorsión deberá entregar una mayor potencia para lograr compensar la distorsión armónica de corriente que produce la carga no lineal, como se puede apreciar en las figuras forma de onda de corriente en la fuente y armónicos de corriente en la fuente, igualmente las formas de onda de corriente en la carga y armónicos de corriente en la carga se ha simulado utilizando solo filtro activo con capacidad de 100 A atenúa hasta el 50% del armónico total.

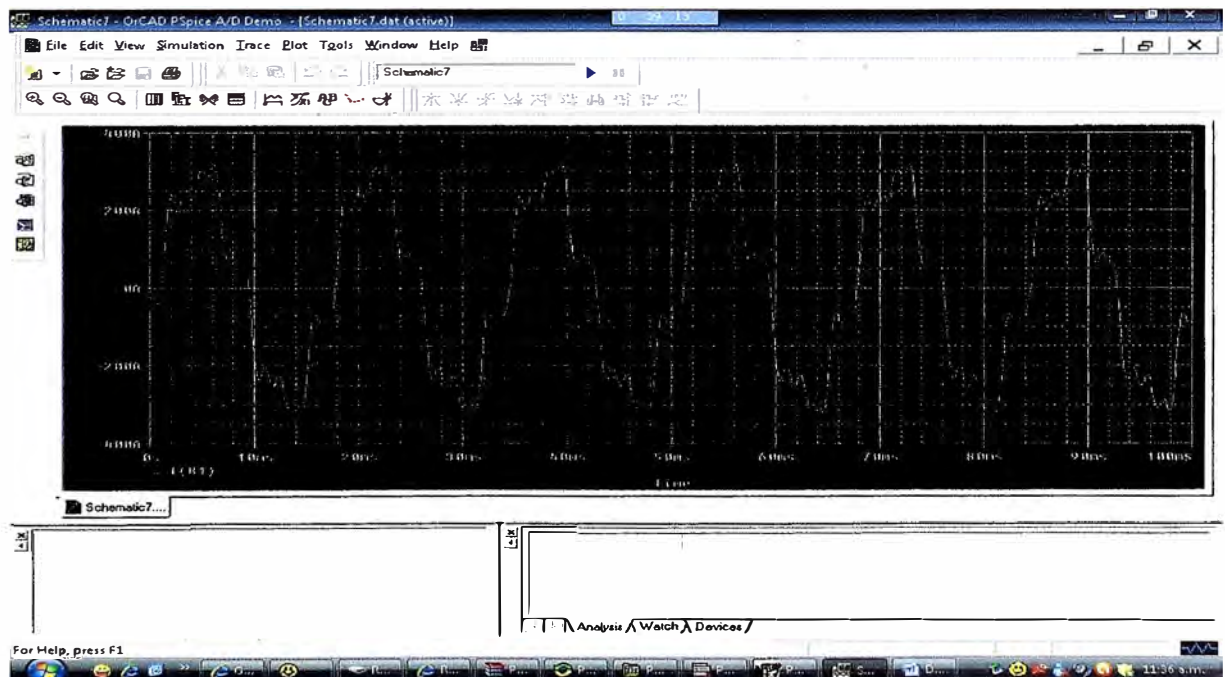


Figura 5.30: Forma de onda de corriente en la fuente

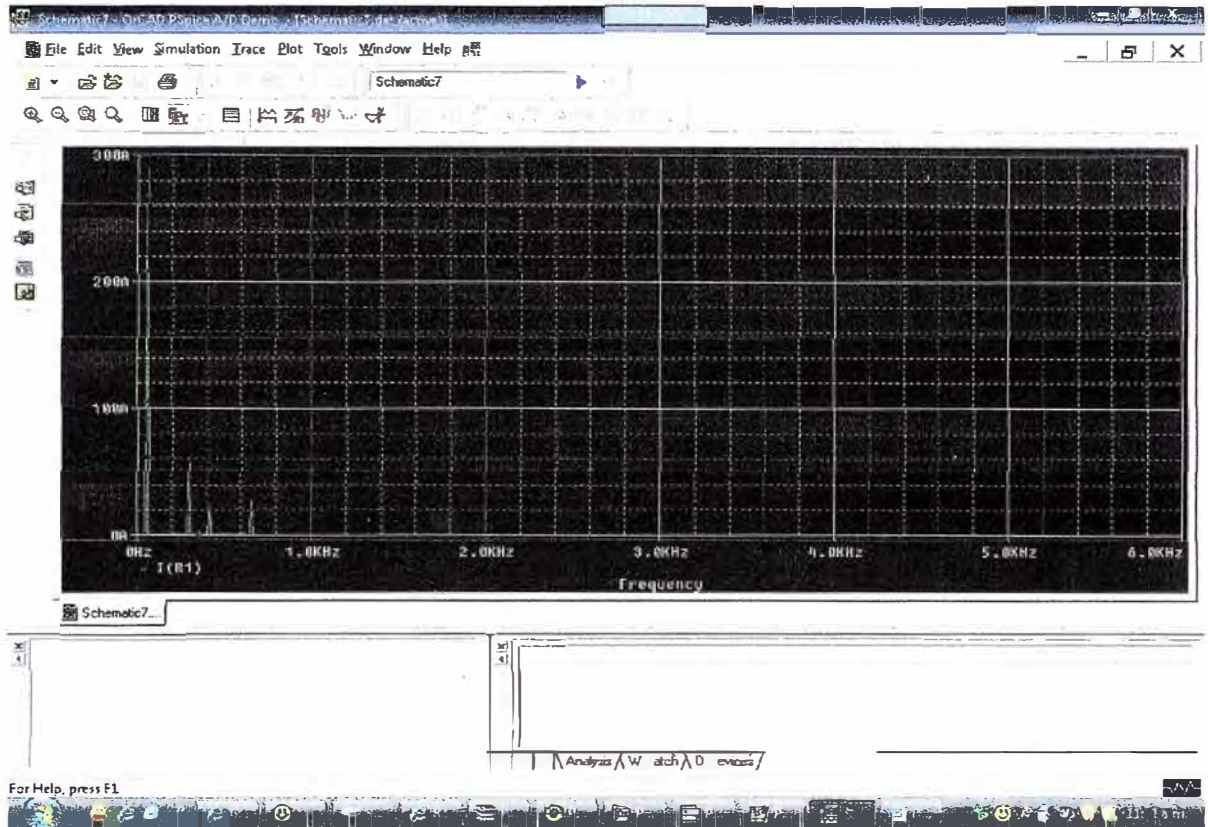


Figura 5.31: Espectro de armónicos de corriente en la fuente

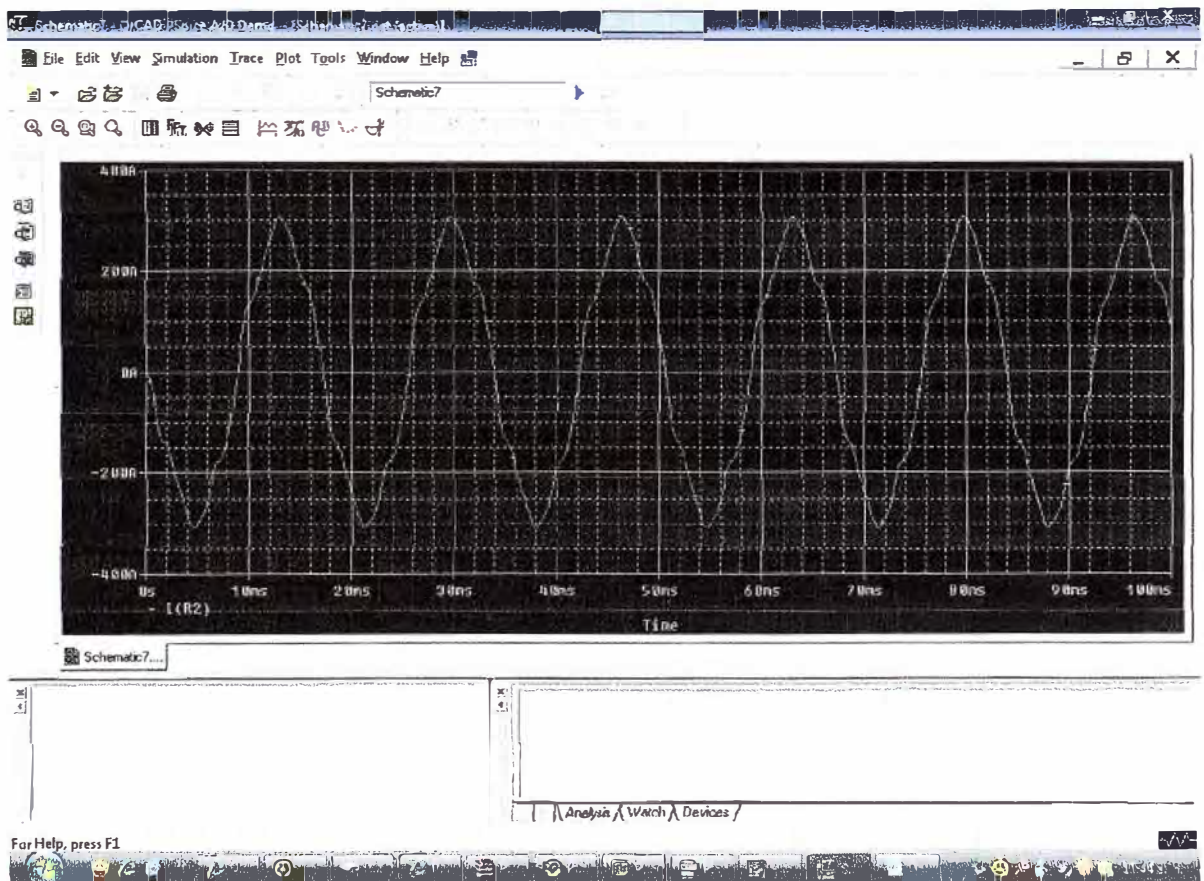


Figura 5.32: Forma de onda de corriente en la carga

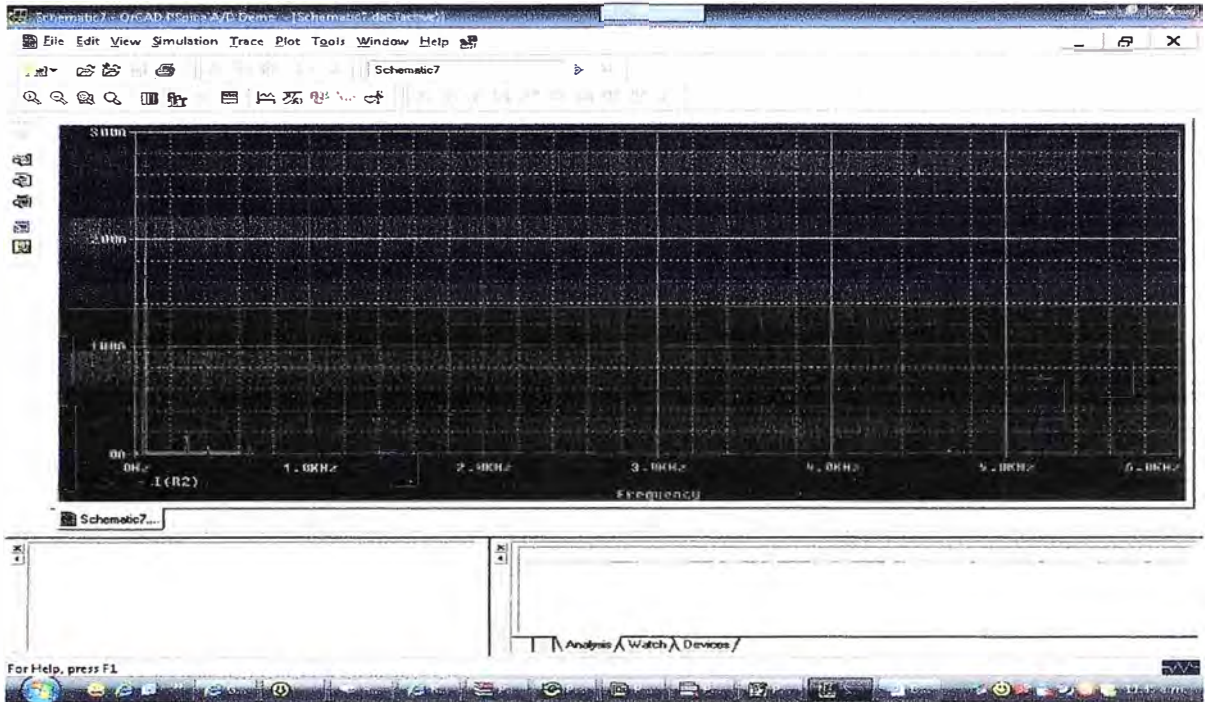


Figura 5.33: Espectro de armónicos de corriente en la carga

En la simulación, el filtro activo disminuye notablemente, solo considerando la corriente para 100 A si se tomara para mayor corriente la distorsión armónica de corriente en la fuente y en la carga disminuiría en mayor porcentaje el THDI, el costo del dispositivo se elevaría el doble.

Haciendo la comparación con cada uno de los filtros en forma independiente se llega a la conclusión el uso mas adecuado en las industrias es el Filtro Híbrido por las cargas no lineales que se presenta son altas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El presente informe tiene como objetivo general la mejora o disminuir las distorsiones armónicas de corriente y tensión realizado en la red eléctrica de baja tensión en la planta industrial de productos plásticos, esto nos permite conocer no solo el comportamiento del flujo armónico en el sistema, si no también como diseñar y aplicar soluciones de acuerdo a las simulaciones realizadas, que a continuación se expone:

En la planta industrial de plásticos al instalar el analizador de redes eléctricas se encontró elevado nivel de distorsión armónica de corriente que supera el 36% de tasa de distorsión, teniendo como consecuencia.

- De los datos históricos recogidos y analizados se puede ver las variaciones del consumo mensual de energía donde los picos en horas punta y fuera de punta son muy diferenciados y esto se eleva mayor con la potencia reactiva existente.
- Se observa que la calificación tarifaria para horas en punta o horas fuera de punta en algunos meses el comportamiento es propio de la producción desordenada puesto que mas del 42% de los meses califica como fuera de punta donde en los demás meses son menores.
- La carga en estudio es de naturaleza **no lineal**, la tasa de distorsión armónica en corriente registrada sobrepasa los límites normados en la IEEE-519, ocasionando valores de tensión y corriente que no cumplen con la NTCSE, siendo los problemas más comunes.
- Salidas de servicio de una línea de producción (impresoras) por presentar elevado nivel de tensión.
- Salida de servicio de una línea de producción (impresoras) ocasionado por salida del sistema operativo de la máquina.
- Salida de una línea de producción (impresoras) por presentar recalentamiento de sus dispositivos de protección.

Otras anomalías:

- Los valores de **tensión y frecuencia** en el punto de medición **no cumplen** con los valores límites referenciados en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE).
- La tasa de distorsión armónica de corriente (THDI) menores a una hora y mayores a una hora **no cumple** con la Norma IEEE 519.

- La tasa de distorsión de tensión (THDV) menores a una hora **no cumple** con la Norma IEEE 519
- El $THDI > THDV$, esta condición establece que los armónicos son generados por cargas instalados en la red eléctrica.
- La distorsión de la forma de onda de tensión y corriente encontrados en la red eléctrica es consecuencia de la presencia de armónicos tanto de tensión como de corriente.
- La potencia activa máxima registrada es de 496kW, el cual se encuentra dentro de la capacidad de potencia del transformador.

Para atenuar o disminuir las distorsiones armónicas de corriente encontradas en la red eléctrica de la planta industrial de plásticos y dar las soluciones adecuadas se ha generado **simulaciones** para distintos compensadores como son los filtros de armónicos, con los siguientes resultados:

- De la simulación con el filtro pasivo sintonizado simple de conexión paralela a la carga no lineal, la tasa de distorsión armónica de corriente (THDI) se reduce los armónicos de 5° orden al 15.2%, 7° y 11° orden al 5.1% respectivamente.
- Aplicando el filtro pasivo en serie con el filtro activo (tipo Accu Sine Shneider Electric de 100 A) y en paralelo con la carga no lineal es decir con el filtro híbrido propiamente dicho disminuye el 5° orden al 5%, 7° y 11° orden al 3% respectivamente.
- Como ultimo opción para evaluar el uso de los filtros se ha simulado solo el filtro activo puro para 100 A, paralelo con la carga no lineal, esto se reduce al 50% de los armónicos a mayor corriente en la fuente la distorsión armónica disminuiría en mayor porcentaje, pero económicamente el costo se elevaría al 100%.
- De los resultados obtenidos, la mejor opción para disminuir armónicos, es implementar el filtro híbrido ya que presenta ventajas económicamente favorables sobre los demás modelos.
- También es necesario indicar de las perturbaciones armónicas, es un problema potencial para usuarios y la concesionaria, por la creciente utilización de equipos de electrónica de potencia.
- Se puede concluir que un filtro pasivo puede disminuir la tasa de distorsión armónicas de corriente en un porcentaje aceptable como lo demuestran las simulaciones realizadas, aplicando el filtro híbrido el porcentaje de armónicos de 36.7% se reduce al 5%, esto demuestra las ventajas importantes que presenta el filtro híbrido en costo – beneficio para la planta industrial de plásticos la disminución de armónicos es considerable.

RECOMENDACIONES

- Se ha recomendado un reordenamiento de la producción, con la finalidad de calificar solo en horas fuera de punta, de esta forma se puede reducir los costos en esta producción.

- El sistema eléctrico de la planta industrial cuenta con un banco de condensadores automáticos de 230kVAR en 440V AC, en este caso se recomienda verificar su correcto funcionamiento, considerar el dimensionamiento de un filtro de rechazo en serie.
- Para realizar el mantenimiento preventivo y hacer las medidas correctivas del caso es importante contar con los parámetros referenciales de las corrientes y tensiones armónicas, para lo cual deben realizar los monitoreos programados en periodos estimados
- Se recomienda la instalación de un analizador de redes tipo Panel en el tablero general en 440VAC, que pueda registrar el THDI, THDV. y donde los parámetros de calidad de energía puedan ser visualizadas en forma remota, se sugiere un equipo de la serie PM.820 de la serie de Schneider Electric.
- Se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo del sistema de protección a tierra conformada por pozos a tierra, se sugiere mantener una resistencia menor a los 5 ohmios.
- Para las futuras adquisiciones de equipos deben cumplir con las normas IEEE 519 a fin de garantizar la tasa de armónicos de corriente - tensión y estén por debajo del 5%.

ANEXOS

Anexo A: Tablas de valores de distorsión armónica IEEE 519

Anexo B: Normas Técnicas de Calidad de Servicios Eléctricos

Anexo C: Registro de tensión y corriente

Anexo D: Registro de frecuencia

Anexo E: Registro de armónicos individuales, THDI y THDV

Anexo F: Registro de potencia Activa

Anexo G: Foto de analizador de redes eléctricas

Anexo H: Foto de analizador de redes eléctricas en proceso medición

Anexo I: Foto de banco de condensadores de la planta industrial

Anexo J: Plano IE-01 diagrama unifilar del sistema eléctrico del transformador (A)

ANEXO A: TABLA DE VALORES DE DISTORSION ARMONICA IEEE-519**NORMA IEEE 519**

Tabla 1. IEEE 519 Límites en la Distorsión de la Corriente.

Para condiciones con duración superior a una hora. Para períodos más cortos el límite aumenta un 50%

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 69,000 - 161,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<20*	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50<100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100<1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5

>1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes > 161,000 volts.						
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
<50	2.0	1.0	0.75	0.30	0.15	2.5
50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75
Los armónicos pares se limitan al 25% de los límites de los armónicos impares mostrados anteriormente						
* Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de Isc/Il que presente						
<p>Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.</p> <p>IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.</p> <p>TDD = Distorsión total de la demanda (RSS) en % de la demanda máxima.</p>						

Tabla 2. IEEE 519 Límites en la Distorsión de la tensión

Para condiciones con duración superior a una hora. Para períodos más cortos el límite aumenta un 50%

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de Voltaje (%)	Distorsión total del voltaje THD (%)
Hasta 69 kV	3.0	5.0
De 69 kV a 137.9 kV	1.5	2.5
138 kV y mas	1.0	1.5
<p>Nota: Los sistemas de alto voltaje pueden llegar hasta un 2.0% en THD cuando lo que causa es un alto voltaje terminal DC, el cual podría ser atenuado.</p>		

**ANEXO B: NORMAS TÉCNICAS DE CALIDAD DE SERVICIOS ELÉCTRICOS
(NTCSE)**

Tabla 3: de Límites para Armónicos Individuales de Tensión y THD

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA ó THD	TOLERANCIA	
	VI ó 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	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
Mayores de 25	$0.1+2.5/n$	$0.2+12.5/n$
(Armónicas impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2
4	1	1
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

ANEXO C: REGISTRO DE TENSION Y CORRIENTE

Fecha de la muestra	V L1 (V)	V L2 (V)	V L3 (V)	I L1 (A)	I L2 (A)	I L3 (A)	V L1 (V)	V L2 (V)	V L3 (V)
09/01/2010 11:30	268	269	268	390,778	313,492	344,332	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 11:40	266	267	265	483,408	396,816	423,768	460,18	461,91	458,45
09/01/2010 11:50	265	267	265	508,767	392,636	425,849	458,45	461,91	458,45
09/01/2010 12:00	269	269	268	471,468	411,835	462,829	465,37	465,37	463,64
09/01/2010 12:10	268	268	267	455,855	443,775	466,473	463,64	463,64	461,91
09/01/2010 12:20	268	269	267	531,106	441,873	464,61	463,64	465,37	461,91
09/01/2010 12:30	269	269	268	462,585	442,031	436,691	465,37	465,37	463,64
09/01/2010 12:40	268	269	267	504,559	386,644	479,037	463,64	465,37	461,91
09/01/2010 12:50	269	270	268	501,182	456,98	468,549	465,37	467,1	463,64
09/01/2010 13:00	268	269	268	506,118	402,262	438,851	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 13:10	267	268	267	495,922	424,112	425,846	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 13:20	271	270	269	493,614	470,576	491,246	468,83	467,1	465,37
09/01/2010 13:30	268	269	267	509,51	401,2	428,331	463,64	465,37	461,91
09/01/2010 13:40	267	268	267	489,697	382,595	424,982	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 13:50	267	268	266	531,95	402,479	444,293	461,91	463,64	460,18
09/01/2010 14:00	267	268	267	522,297	408,284	430,317	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 14:10	268	269	268	490,994	451,319	434,966	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 14:20	268	269	268	491,866	446,71	435,054	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 14:30	266	266	266	519,899	456,696	452,478	460,18	460,18	460,18
09/01/2010 14:40	266	267	266	501,265	463,881	465,12	460,18	461,91	460,18
09/01/2010 14:50	265	266	265	512,037	438,867	413,547	458,45	460,18	458,45
09/01/2010 15:00	267	267	265	481,706	397,397	419,114	461,91	461,91	458,45
09/01/2010 15:10	267	267	266	481,983	440,361	467,993	461,91	461,91	460,18
09/01/2010 15:20	267	267	266	499,897	428,383	425,497	461,91	461,91	460,18
09/01/2010 15:30	267	267	266	515,619	447,732	468,305	461,91	461,91	460,18
09/01/2010 15:40	267	268	267	511,852	455,858	442,128	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 15:50	265	266	264	501,81	417,127	480,015	458,45	460,18	456,72
09/01/2010 16:00	267	267	266	497,351	509,455	491,679	461,91	461,91	460,18
09/01/2010 16:10	267	267	266	475,219	407,964	462,862	461,91	461,91	460,18
09/01/2010 16:20	266	266	265	495,547	398,574	440,272	460,18	460,18	458,45
09/01/2010 16:30	267	267	265	496,312	424,857	447,854	461,91	461,91	458,45
09/01/2010 16:40	267	267	266	477,414	432,367	444,791	461,91	461,91	460,18
09/01/2010 16:50	268	268	267	483,9	433,939	451,181	463,64	463,64	461,91
09/01/2010 17:00	266	267	265	492,537	448,169	439,668	460,18	461,91	458,45
09/01/2010 17:10	268	268	266	471,906	445,803	486,882	463,64	463,64	460,18
09/01/2010 17:20	267	268	267	499,985	449,407	429,787	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 17:30	266	266	266	463,083	489,918	462,824	460,18	460,18	460,18
09/01/2010 17:40	267	267	266	490,406	417,325	437,71	461,91	461,91	460,18
09/01/2010 17:50	268	269	268	482,804	426,542	438,546	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 18:00	269	269	267	491,846	415,023	496,232	465,37	465,37	461,91
09/01/2010 18:10	267	268	266	507,318	411,419	458,31	461,91	463,64	460,18
09/01/2010 18:20	264	265	264	506,253	467,414	447,671	456,72	458,45	456,72
09/01/2010 18:30	264	265	263	497,088	423,618	526,321	456,72	458,45	454,99
09/01/2010 18:40	263	263	261	472,084	391,045	420,949	454,99	454,99	451,53
09/01/2010 18:50	263	264	263	513,34	471,203	448,182	454,99	456,72	454,99
09/01/2010 19:00	264	265	264	545,13	489,495	495,529	456,72	458,45	456,72
09/01/2010 19:10	265	265	264	527,168	444,868	500,537	458,45	458,45	456,72
09/01/2010 19:20	264	265	264	498,94	475,302	438,056	456,72	458,45	456,72
09/01/2010 19:30	265	265	264	496,204	447,606	477,253	458,45	458,45	456,72
09/01/2010 19:40	266	267	265	495,325	466,333	433,591	460,18	461,91	458,45
09/01/2010 19:50	266	267	266	471,227	422,855	465,184	460,18	461,91	460,18
09/01/2010 20:00	265	266	265	472,189	447,997	449,514	458,45	460,18	458,45
09/01/2010 20:10	266	267	265	473,708	439,404	474,406	460,18	461,91	458,45
09/01/2010 20:20	266	267	266	448,071	471,48	429,691	460,18	461,91	460,18
09/01/2010 20:30	267	268	267	498,8	397,507	431,75	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 20:40	268	269	268	498,39	466,207	451,046	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 20:50	268	269	268	506,049	468,683	482,802	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 21:00	268	268	267	516,592	429,658	426,133	463,64	463,64	461,91
09/01/2010 21:10	268	269	267	266,146	200,312	219,508	463,64	465,37	461,91
09/01/2010 21:20	268	269	268	402,322	374,564	375,613	463,64	465,37	463,64
09/01/2010 21:30	269	269	268	475,669	435,317	396,973	465,37	465,37	463,64
09/01/2010 21:40	269	269	269	474,298	467,378	473,427	465,37	465,37	465,37

09/01/2010 21:50	268	268	266	522,361	394,886	433,956	463,64	463,64	460,18
09/01/2010 22:00	267	268	267	520,258	813,445	501,031	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 22:10	267	268	267	483,576	482,381	437,383	461,91	463,64	461,91
09/01/2010 22:20	269	269	267	503,269	436,238	481,258	465,37	465,37	461,91
09/01/2010 22:30	263	264	263	506,917	480,496	437,302	454,99	456,72	454,99
09/01/2010 22:40	265	265	264	508,239	410,549	418,327	458,45	458,45	456,72
09/01/2010 22:50	266	266	264	454,657	454,892	485,356	460,18	460,18	456,72
09/01/2010 23:00	266	268	266	472,652	407,339	460,842	460,18	463,64	460,18
09/01/2010 23:10	265	265	264	499,38	444,65	462,994	458,45	458,45	456,72
09/01/2010 23:20	262	263	261	502,162	422,645	454,213	453,26	454,99	451,53
09/01/2010 23:30	261	262	260	538,216	396,734	426,612	451,53	453,26	449,8
09/01/2010 23:40	261	262	261	487,495	406,775	420,824	451,53	453,26	451,53
09/01/2010 23:50	261	262	261	500,605	473,154	454,539	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 0:00	261	262	260	503,338	396,413	464,993	451,53	453,26	449,8
10/01/2010 0:10	260	261	259	477,331	432,451	499,037	449,8	451,53	448,07
10/01/2010 0:20	263	263	262	509,618	252,45	516,502	454,99	454,99	453,26
10/01/2010 0:30	262	262	260	529,792	389,573	520,672	453,26	453,26	449,8
10/01/2010 0:40	261	262	261	502,922	488,574	445,706	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 0:50	262	263	261	467,783	398,111	495,747	453,26	454,99	451,53
10/01/2010 1:00	262	263	262	482,651	451,156	447,004	453,26	454,99	453,26
10/01/2010 1:10	262	262	261	506,062	444,643	504,125	453,26	453,26	451,53
10/01/2010 1:20	261	262	260	418,574	354,521	377,211	451,53	453,26	449,8
10/01/2010 1:30	263	263	262	430,621	365,822	392,366	454,99	454,99	453,26
10/01/2010 1:40	260	262	260	417,773	359,33	375,061	449,8	453,26	449,8
10/01/2010 1:50	261	261	260	515,921	448,494	456,969	451,53	451,53	449,8
10/01/2010 2:00	261	262	261	416,941	369,022	370,482	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 2:10	260	261	260	473,774	416,148	468,569	449,8	451,53	449,8
10/01/2010 2:20	261	261	260	473,455	419,489	432,179	451,53	451,53	449,8
10/01/2010 2:30	262	262	261	416,65	354,272	387,091	453,26	453,26	451,53
10/01/2010 2:40	261	262	261	418,47	354,606	378,346	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 2:50	259	259	258	423,69	354,941	378,181	448,07	448,07	446,34
10/01/2010 3:00	260	260	259	403,003	349,155	372,286	449,8	449,8	448,07
10/01/2010 3:10	259	260	259	420,523	353,3	374,235	448,07	449,8	448,07
10/01/2010 3:20	261	262	261	429,361	366,36	383,507	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 3:30	259	260	259	419,353	355,355	374,973	448,07	449,8	448,07
10/01/2010 3:40	259	260	259	419,686	354,829	372,244	448,07	449,8	448,07
10/01/2010 3:50	260	261	260	424,787	364,509	380,703	449,8	451,53	449,8
10/01/2010 4:00	262	262	261	425,767	361,959	378,634	453,26	453,26	451,53
10/01/2010 4:10	260	260	259	423,452	354,299	372,832	449,8	449,8	448,07
10/01/2010 4:20	260	261	259	408,848	344,929	360,872	449,8	451,53	448,07
10/01/2010 4:30	261	262	261	426,416	362,953	383,032	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 4:40	261	262	261	419,221	350,223	363,796	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 4:50	261	262	261	418,086	351,035	369,66	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 5:00	260	260	259	409,023	347,7	357,475	449,8	449,8	448,07
10/01/2010 5:10	255	255	254	501,275	427,068	513,242	441,15	441,15	439,42
10/01/2010 5:20	258	259	257	478,774	407,024	430,277	446,34	448,07	444,61
10/01/2010 5:30	258	259	258	489,665	405,63	462,307	446,34	448,07	446,34
10/01/2010 5:40	259	258	258	475,724	486,961	491,79	448,07	446,34	446,34
10/01/2010 5:50	258	259	258	509,425	480,436	503,749	446,34	448,07	446,34
10/01/2010 6:00	261	261	261	471,545	464,016	489,606	451,53	451,53	451,53
10/01/2010 6:10	262	263	262	504,564	478,269	470,627	453,26	454,99	453,26
10/01/2010 6:20	262	262	262	474,997	492,199	448,833	453,26	453,26	453,26
10/01/2010 6:30	262	262	261	508,581	442,199	443,504	453,26	453,26	451,53
10/01/2010 6:40	265	265	264	462,624	431,112	405,321	458,45	458,45	456,72
10/01/2010 6:50	266	266	264	520,683	436,201	464,409	460,18	460,18	456,72
10/01/2010 7:00	266	266	265	463,688	473,359	410,258	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 7:10	266	265	265	528,198	413,958	458,442	460,18	458,45	458,45
10/01/2010 7:20	264	265	265	501,827	408,496	409,171	456,72	458,45	458,45
10/01/2010 7:30	266	266	265	482,614	383,056	460,672	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 7:40	264	263	263	482,829	458,337	450,888	456,72	454,99	454,99
10/01/2010 7:50	266	265	264	526,034	464,912	464,433	460,18	458,45	456,72
10/01/2010 8:00	264	265	264	519,793	413,996	438,338	456,72	458,45	456,72
10/01/2010 8:10	263	262	261	494,487	397,719	436,632	454,99	453,26	451,53
10/01/2010 8:20	265	264	264	515,57	496,809	455,783	458,45	456,72	456,72
10/01/2010 8:30	266	266	265	492,601	410,195	487,745	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 8:40	265	266	265	500,497	413,863	428,793	458,45	460,18	458,45
10/01/2010 8:50	264	264	263	492,808	424,154	431,548	456,72	456,72	454,99
10/01/2010 9:00	265	265	265	468,587	394,285	429,265	458,45	458,45	458,45
10/01/2010 9:10	264	264	263	476,283	429,595	467,868	456,72	456,72	454,99
10/01/2010 9:20	264	265	263	508,656	398,607	427,509	456,72	458,45	454,99
10/01/2010 9:30	264	264	262	476,149	431,569	491,479	456,72	456,72	453,26
10/01/2010 9:40	264	264	263	469,146	444,113	490,116	456,72	456,72	454,99
10/01/2010 9:50	264	264	263	525,814	437,791	448,055	456,72	456,72	454,99
10/01/2010 10:00	263	263	262	485,35	394,475	416,523	454,99	454,99	453,26
10/01/2010 10:10	263	264	262	534,612	483,421	491,924	454,99	456,72	453,26
10/01/2010 10:20	263	264	262	482,702	400,376	414,308	454,99	456,72	453,26
10/01/2010 10:30	262	262	261	510,036	497,834	519,671	453,26	453,26	451,53
10/01/2010 10:40	262	263	263	526,201	453,676	459,893	453,26	454,99	454,99
10/01/2010 10:50	263	263	263	495,766	480,208	489,457	454,99	454,99	454,99
10/01/2010 11:00	265	265	263	467,021	393,343	446,809	458,45	458,45	454,99
10/01/2010 11:10	265	265	264	489,079	431,471	471,528	458,45	458,45	456,72
10/01/2010 11:20	264	265	264	500,717	452,835	474,872	456,72	458,45	456,72
10/01/2010 11:30	263	263	261	483,211	448,894	473,69	454,99	454,99	451,53
10/01/2010 11:40	262	263	263	505,389	432,354	453,298	453,26	454,99	454,99
10/01/2010 11:50	263	263	262	470,156	436,683	478,922	454,99	454,99	453,26

10/01/2010 12:00	263	262	261	488,851	424,533	506,253	454,99	453,26	451,53
10/01/2010 12:10	265	264	264	491,258	468,693	416,773	458,45	456,72	456,72
10/01/2010 12:20	264	263	263	468,633	438,519	451,207	456,72	454,99	454,99
10/01/2010 12:30	265	264	263	477,477	410,411	424,639	458,45	456,72	454,99
10/01/2010 12:40	264	264	263	521,366	420,978	445,408	456,72	456,72	454,99
10/01/2010 12:50	264	265	264	517,503	418,34	418,776	456,72	458,45	456,72
10/01/2010 13:00	265	265	264	484,187	426,837	411,36	458,45	458,45	456,72
10/01/2010 13:10	264	264	264	488,852	463,059	429,994	456,72	456,72	456,72
10/01/2010 13:20	265	265	264	477,944	438,135	446,733	458,45	458,45	456,72
10/01/2010 13:30	266	267	266	486,26	422,061	423,86	460,18	461,91	460,18
10/01/2010 13:40	266	267	266	514,728	430,292	449,079	460,18	461,91	460,18
10/01/2010 13:50	266	266	265	531,958	436,623	465	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 14:00	266	267	265	480,609	384,337	444,158	460,18	461,91	458,45
10/01/2010 14:10	267	268	267	476,963	441,662	445,334	461,91	463,64	461,91
10/01/2010 14:20	266	267	266	503,985	449,296	460,506	460,18	461,91	460,18
10/01/2010 14:30	267	268	266	469,817	368,216	430,739	461,91	463,64	460,18
10/01/2010 14:40	268	268	266	503,518	424,764	463,386	463,64	463,64	460,18
10/01/2010 14:50	267	267	266	478,168	427,313	495,036	461,91	461,91	460,18
10/01/2010 15:00	267	267	265	504,646	449,156	462,897	461,91	461,91	458,45
10/01/2010 15:10	267	268	266	485,467	419,153	461,557	461,91	463,64	460,18
10/01/2010 15:20	268	268	266	532,988	431,546	448,952	463,64	463,64	460,18
10/01/2010 15:30	267	267	265	481,425	406,993	482,215	461,91	461,91	458,45
10/01/2010 15:40	268	269	267	475,649	397,136	439,586	463,64	465,37	461,91
10/01/2010 15:50	268	268	267	510,857	407,436	437,416	463,64	463,64	461,91
10/01/2010 16:00	266	267	265	466,741	399,764	447,526	460,18	461,91	458,45
10/01/2010 16:10	267	267	266	446,103	374,427	779,156	461,91	461,91	460,18
10/01/2010 16:20	266	267	265	484,323	401,792	442,91	460,18	461,91	458,45
10/01/2010 16:30	266	267	266	457,641	408,201	391,469	460,18	461,91	460,18
10/01/2010 16:40	268	268	266	470,197	418,485	444,083	463,64	463,64	460,18
10/01/2010 16:50	268	269	267	487,528	396,794	397,814	463,64	465,37	461,91
10/01/2010 17:00	268	267	265	445,096	357,454	402,52	463,64	461,91	458,45
10/01/2010 17:10	266	267	266	448,922	417,499	401,544	460,18	461,91	460,18
10/01/2010 17:20	266	266	264	476,755	450,378	464,052	460,18	460,18	456,72
10/01/2010 17:30	265	265	264	471,295	374,355	410,287	458,45	458,45	456,72
10/01/2010 17:40	266	266	265	489,994	413,582	462,649	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 17:50	266	267	264	449,479	367,061	409,551	460,18	461,91	456,72
10/01/2010 18:00	266	266	265	453,452	361,677	442,318	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 18:10	266	267	265	499,464	407,201	460,22	460,18	461,91	458,45
10/01/2010 18:20	264	265	263	474,157	403,661	529,042	456,72	458,45	454,99
10/01/2010 18:30	263	262	262	459,9	463,022	424,44	454,99	453,26	453,26
10/01/2010 18:40	264	264	263	482,169	391,999	414,858	456,72	456,72	454,99
10/01/2010 18:50	263	264	264	454,886	446,184	400,959	454,99	456,72	456,72
10/01/2010 19:00	264	264	263	472,192	410,663	454,156	456,72	456,72	454,99
10/01/2010 19:10	268	269	267	453,347	350,329	398,857	463,64	465,37	461,91
10/01/2010 19:20	266	267	265	473,659	399,245	408,232	460,18	461,91	458,45
10/01/2010 19:30	266	267	265	458,396	397,879	428,226	460,18	461,91	458,45
10/01/2010 19:40	265	265	264	468,77	457,793	467,78	458,45	458,45	456,72
10/01/2010 19:50	265	266	264	482,399	407,549	450,723	458,45	460,18	456,72
10/01/2010 20:00	264	266	263	479,62	387,773	428,289	456,72	460,18	454,99
10/01/2010 20:10	266	268	266	481,469	403,839	385,721	460,18	463,64	460,18
10/01/2010 20:20	265	267	265	498,166	407,675	413,581	458,45	461,91	458,45
10/01/2010 20:30	265	266	265	473,261	412,364	449,949	458,45	460,18	458,45
10/01/2010 20:40	266	266	266	471,08	469,023	461,334	460,18	460,18	460,18
10/01/2010 20:50	266	267	265	507,551	358,802	438,167	460,18	461,91	458,45
10/01/2010 21:00	266	266	265	485,812	414,211	468,949	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 21:10	266	266	266	473,826	425,732	403,64	460,18	460,18	460,18
10/01/2010 21:20	266	266	265	455,496	403,299	463,248	460,18	460,18	458,45
10/01/2010 21:30	267	267	266	462,236	399,924	395,491	461,91	461,91	460,18
10/01/2010 21:40	268	268	266	472,527	437,327	429,786	463,64	463,64	460,18
10/01/2010 21:50	268	268	267	438,383	404,303	476,93	463,64	463,64	461,91
10/01/2010 22:00	267	268	267	475,117	401,202	422,407	461,91	463,64	461,91
10/01/2010 22:10	268	269	267	481,93	417,979	424,288	463,64	465,37	461,91
10/01/2010 22:20	267	268	267	480,383	390,75	439,01	461,91	463,64	461,91
10/01/2010 22:30	268	269	267	408,656	321,061	332,749	463,64	465,37	461,91
10/01/2010 22:40	268	268	265	459,809	383,885	474,534	463,64	463,64	458,45
10/01/2010 22:50	263	264	262	460,863	426,545	414,759	454,99	456,72	453,26
10/01/2010 23:00	266	266	264	483,724	377,24	477,995	460,18	460,18	456,72
10/01/2010 23:10	264	265	264	478,474	454,952	416,658	456,72	458,45	456,72
10/01/2010 23:20	262	262	260	490,076	421,807	463,688	453,26	453,26	449,8
10/01/2010 23:30	261	262	261	456,001	379,713	401,237	451,53	453,26	451,53
10/01/2010 23:40	261	262	260	461,725	421,361	459,444	451,53	453,26	449,8
10/01/2010 23:50	262	263	261	391,441	319,471	337,388	453,26	454,99	451,53
11/01/2010 0:00	261	262	260	391,524	323,933	353,154	451,53	453,26	449,8
11/01/2010 0:10	262	262	261	403,108	337,851	349,283	453,26	453,26	451,53
11/01/2010 0:20	262	263	262	389,294	330,919	341,587	453,26	454,99	453,26
11/01/2010 0:30	262	262	261	387,171	317,361	331,597	453,26	453,26	451,53
11/01/2010 0:40	263	264	262	386,184	320,376	336,67	454,99	456,72	453,26
11/01/2010 0:50	261	262	260	394,767	327,711	345,206	451,53	453,26	449,8

11/01/2010 1:00	263	263	262	391,162	328,165	340,02	454,99	454,99	453,26
11/01/2010 1:10	264	264	262	396,785	328,692	342,214	456,72	456,72	453,26
11/01/2010 1:20	262	262	261	396,739	326,343	339,528	453,26	453,26	451,53
11/01/2010 1:30	262	263	261	388,003	319,94	334,055	453,26	454,99	451,53
11/01/2010 1:40	263	264	262	395,395	332,017	345,878	454,99	456,72	453,26
11/01/2010 1:50	264	264	262	399,222	330,624	343,984	456,72	456,72	453,26
11/01/2010 2:00	264	265	263	386,303	322,805	331,037	456,72	458,45	454,99
11/01/2010 2:10	260	261	260	396,171	330,544	343,556	449,8	451,53	449,8
11/01/2010 2:20	261	262	260	385,712	319,761	340,755	451,53	453,26	449,8
11/01/2010 2:30	261	262	260	377,309	327,493	342,317	451,53	453,26	449,8
11/01/2010 2:40	261	263	261	499,396	410,37	410,09	451,53	454,99	451,53
11/01/2010 2:50	260	261	259	495,094	411,125	428,231	449,8	451,53	448,07
11/01/2010 3:00	262	264	261	495,333	386,667	417,173	453,26	456,72	451,53
11/01/2010 3:10	261	261	260	479,735	448,64	426,563	451,53	451,53	449,8
11/01/2010 3:20	262	263	261	466,283	419,373	392,09	453,26	454,99	451,53
11/01/2010 3:30	263	264	262	490,283	430,991	488,654	454,99	456,72	453,26
11/01/2010 3:40	261	263	260	436,412	368,664	432,798	451,53	454,99	449,8
11/01/2010 3:50	262	263	261	471,168	454,367	437,69	453,26	454,99	451,53
11/01/2010 4:00	261	262	261	478,044	400,041	417,042	451,53	453,26	451,53
11/01/2010 4:10	260	261	261	464,681	426,701	428,458	449,8	451,53	451,53
11/01/2010 4:20	260	261	260	468,042	386,051	454,621	449,8	451,53	449,8
11/01/2010 4:30	259	260	258	487,203	452,53	431,479	448,07	449,8	446,34
11/01/2010 4:40	261	261	260	491,877	448,939	501,855	451,53	451,53	449,8
11/01/2010 4:50	260	261	260	512,959	487,591	451,999	449,8	451,53	449,8
11/01/2010 5:00	260	260	260	463,844	457,3	454,773	449,8	449,8	449,8
11/01/2010 5:10	257	258	256	496,122	417,283	459,183	444,61	446,34	442,88
11/01/2010 5:20	258	259	258	458,276	421,137	416,035	446,34	448,07	446,34
11/01/2010 5:30	259	260	259	460,609	477,302	448,063	448,07	449,8	448,07
11/01/2010 5:40	258	259	258	489,785	434,378	449,308	446,34	448,07	446,34
11/01/2010 5:50	259	260	258	455,311	409,862	442,428	448,07	449,8	446,34
11/01/2010 6:00	259	261	259	500,853	402,691	414,979	448,07	451,53	448,07
11/01/2010 6:10	260	261	260	429,93	387,119	426,647	449,8	451,53	449,8
11/01/2010 6:20	262	263	262	488,882	409,369	435,602	453,26	454,99	453,26
11/01/2010 6:30	264	264	263	455,293	404,946	425,745	456,72	456,72	454,99
11/01/2010 6:40	265	266	265	460,353	456,421	452,782	458,45	460,18	458,45
11/01/2010 6:50	264	265	264	470,299	367,565	446,881	456,72	458,45	456,72
11/01/2010 7:00	263	263	263	461,425	466,546	412,146	454,99	454,99	454,99
11/01/2010 7:10	265	265	263	462,004	378,881	424,725	458,45	458,45	454,99
11/01/2010 7:20	265	265	265	444,086	404,124	392,878	458,45	458,45	458,45
11/01/2010 7:30	264	265	264	743,662	692,882	722,941	456,72	458,45	456,72
11/01/2010 7:40	264	266	264	719,534	623,333	671,984	456,72	460,18	456,72
11/01/2010 7:50	265	266	265	644,559	628,874	617,927	458,45	460,18	458,45
11/01/2010 8:00	265	265	265	610,88	557,331	541,008	458,45	458,45	458,45
11/01/2010 8:10	266	267	265	638,502	561,42	565,072	460,18	461,91	458,45
11/01/2010 8:20	266	266	265	559,247	540,186	520,696	460,18	460,18	458,45
11/01/2010 8:30	267	268	266	554,698	500,147	550,707	461,91	463,64	460,18
11/01/2010 8:40	266	267	265	574,338	489,929	496,841	460,18	461,91	458,45
11/01/2010 8:50	267	267	266	570,223	516,882	549,852	461,91	461,91	460,18
11/01/2010 9:00	264	264	263	620,036	527,72	607,204	456,72	456,72	454,99
11/01/2010 9:10	267	268	267	570,739	501,802	497,489	461,91	463,64	461,91
11/01/2010 9:20	267	267	266	562,517	506,416	510,983	461,91	461,91	460,18
11/01/2010 9:30	266	266	266	564,372	487,812	549,021	460,18	460,18	460,18
11/01/2010 9:40	269	270	269	508,274	478,14	488,174	465,37	467,1	465,37
11/01/2010 9:50	269	269	268	603,558	568,76	627,469	465,37	465,37	463,64
11/01/2010 10:00	269	269	268	527,591	465,917	481,716	465,37	465,37	463,64
11/01/2010 10:10	268	269	267	545,194	500,331	480,82	463,64	465,37	461,91
11/01/2010 10:20	267	269	267	592,568	480,539	473,007	461,91	465,37	461,91
11/01/2010 10:30	268	269	267	559,826	491,316	481,396	463,64	465,37	461,91
11/01/2010 10:40	268	267	267	583,674	514,013	557,198	463,64	461,91	461,91
11/01/2010 10:50	267	267	267	540,731	486,436	477,95	461,91	461,91	461,91
11/01/2010 11:00	267	268	267	584,081	504,974	528,838	461,91	463,64	461,91
11/01/2010 11:10	266	267	267	574,627	541,055	500,639	460,18	461,91	461,91
11/01/2010 11:20	265	266	266	560,96	526,455	524,227	458,45	460,18	460,18
11/01/2010 11:30	265	266	265	543,358	478,709	478,923	458,45	460,18	458,45
11/01/2010 11:40	264	265	264	612,312	537,405	571,676	456,72	458,45	456,72
11/01/2010 11:50	265	265	265	579,583	493,634	510,46	458,45	458,45	458,45
11/01/2010 12:00	266	268	267	575,312	541,472	521,367	460,18	463,64	461,91
11/01/2010 12:10	269	269	268	555,505	490,83	539,569	465,37	465,37	463,64
11/01/2010 12:20	268	269	268	519,008	451,115	464,207	463,64	465,37	463,64
11/01/2010 12:30	268	269	269	537,994	499,293	464,116	463,64	465,37	465,37
11/01/2010 12:40	269	270	269	537,265	447,433	440,574	465,37	467,1	465,37
11/01/2010 12:50	268	268	267	558,308	481,186	510,758	463,64	463,64	461,91
11/01/2010 13:00	269	270	268	537,548	488,462	491,138	465,37	467,1	463,64
11/01/2010 13:10	267	268	267	625,062	517,76	540,025	461,91	463,64	461,91
				743,662	813,445	779,156	468,83	467,1	465,37

ANEXO D: REGISTRO DE FRECUENCIA

Fecha de la muestra	Frecuencia: Frecuencia (Hz)		
		09/01/2010 19:40	60,2
09/01/2010 11:30	59,9	09/01/2010 19:50	60
09/01/2010 11:40	60	09/01/2010 20:00	59,9
09/01/2010 11:50	60,1	09/01/2010 20:10	60
09/01/2010 12:00	60	09/01/2010 20:20	59,9
09/01/2010 12:10	60	09/01/2010 20:30	59,9
09/01/2010 12:20	60	09/01/2010 20:40	60
09/01/2010 12:30	60,1	09/01/2010 20:50	60,1
09/01/2010 12:40	60	09/01/2010 21:00	60,1
09/01/2010 12:50	60,1	09/01/2010 21:10	60,1
09/01/2010 13:00	60,1	09/01/2010 21:20	60,1
09/01/2010 13:10	60	09/01/2010 21:30	60,1
09/01/2010 13:20	60,1	09/01/2010 21:40	60,2
09/01/2010 13:30	60	09/01/2010 21:50	60
09/01/2010 13:40	60	09/01/2010 22:00	59,8
09/01/2010 13:50	59,9	09/01/2010 22:10	59,9
09/01/2010 14:00	59,9	09/01/2010 22:20	59,9
09/01/2010 14:10	60	09/01/2010 22:30	60
09/01/2010 14:20	60,1	09/01/2010 22:40	60,1
09/01/2010 14:30	60,1	09/01/2010 22:50	60,2
09/01/2010 14:40	60,1	09/01/2010 23:00	60,2
09/01/2010 14:50	60	09/01/2010 23:10	60,1
09/01/2010 15:00	59,9	09/01/2010 23:20	60
09/01/2010 15:10	60	09/01/2010 23:30	59,9
09/01/2010 15:20	60,1	09/01/2010 23:40	60
09/01/2010 15:30	60	09/01/2010 23:50	60
09/01/2010 15:40	59,9	10/01/2010 0:00	60,1
09/01/2010 15:50	59,9	10/01/2010 0:10	60,2
09/01/2010 16:00	60,1	10/01/2010 0:20	60,2
09/01/2010 16:10	59,9	10/01/2010 0:30	59,9
09/01/2010 16:20	60	10/01/2010 0:40	60,1
09/01/2010 16:30	60,1	10/01/2010 0:50	60,2
09/01/2010 16:40	60,1	10/01/2010 1:00	60
09/01/2010 16:50	60,1	10/01/2010 1:10	60,1
09/01/2010 17:00	59,9	10/01/2010 1:20	60,1
09/01/2010 17:10	60	10/01/2010 1:30	60,2
09/01/2010 17:20	60	10/01/2010 1:40	60,2
09/01/2010 17:30	60,1	10/01/2010 1:50	60,2
09/01/2010 17:40	60	10/01/2010 2:00	59,9
09/01/2010 17:50	60	10/01/2010 2:10	59,9
09/01/2010 18:00	60,2	10/01/2010 2:20	60

09/01/2010 18:10	60	10/01/2010 2:30	60,2
09/01/2010 18:20	60	10/01/2010 2:40	59,9
09/01/2010 18:30	60,1	10/01/2010 2:50	59,8
09/01/2010 18:40	60	10/01/2010 3:00	59,9
09/01/2010 18:50	60	10/01/2010 3:10	60,1
09/01/2010 19:00	59,9	10/01/2010 3:20	60
09/01/2010 19:10	60	10/01/2010 3:30	59,9
09/01/2010 19:20	60	10/01/2010 3:40	60
09/01/2010 19:30	60,1	10/01/2010 3:50	60
10/01/2010 4:00	60	10/01/2010 12:20	59,8
10/01/2010 4:10	59,8	10/01/2010 12:30	59,9
10/01/2010 4:20	59,9	10/01/2010 12:40	60,1
10/01/2010 4:30	60,1	10/01/2010 12:50	59,8
10/01/2010 4:40	60,2	10/01/2010 13:00	60
10/01/2010 4:50	60	10/01/2010 13:10	59,9
10/01/2010 5:00	60	10/01/2010 13:20	60,1
10/01/2010 5:10	60	10/01/2010 13:30	60,1
10/01/2010 5:20	60,2	10/01/2010 13:40	60
10/01/2010 5:30	60	10/01/2010 13:50	60
10/01/2010 5:40	60,1	10/01/2010 14:00	60
10/01/2010 5:50	60,2	10/01/2010 14:10	60
10/01/2010 6:00	60,3	10/01/2010 14:20	59,8
10/01/2010 6:10	60,3	10/01/2010 14:30	59,9
10/01/2010 6:20	60,2	10/01/2010 14:40	60
10/01/2010 6:30	60	10/01/2010 14:50	60,1
10/01/2010 6:40	60,2	10/01/2010 15:00	60,1
10/01/2010 6:50	60,2	10/01/2010 15:10	59,9
10/01/2010 7:00	59,9	10/01/2010 15:20	59,9
10/01/2010 7:10	59,8	10/01/2010 15:30	60
10/01/2010 7:20	59,9	10/01/2010 15:40	59,9
10/01/2010 7:30	60,2	10/01/2010 15:50	60,1
10/01/2010 7:40	60	10/01/2010 16:00	59,9
10/01/2010 7:50	59,9	10/01/2010 16:10	60,1
10/01/2010 8:00	59,8	10/01/2010 16:20	60,1
10/01/2010 8:10	60	10/01/2010 16:30	60
10/01/2010 8:20	59,9	10/01/2010 16:40	59,9
10/01/2010 8:30	59,8	10/01/2010 16:50	59,9
10/01/2010 8:40	60,2	10/01/2010 17:00	60,1
10/01/2010 8:50	60,1	10/01/2010 17:10	60
10/01/2010 9:00	60,1	10/01/2010 17:20	60
10/01/2010 9:10	59,9	10/01/2010 17:30	59,8
10/01/2010 9:20	59,9	10/01/2010 17:40	60,2
10/01/2010 9:30	59,8	10/01/2010 17:50	60,2

10/01/2010 9:40	60	10/01/2010 18:00	60
10/01/2010 9:50	59,8	10/01/2010 18:10	60
10/01/2010 10:00	59,8	10/01/2010 18:20	60,1
10/01/2010 10:10	59,8	10/01/2010 18:30	60
10/01/2010 10:20	60	10/01/2010 18:40	60,1
10/01/2010 10:30	59,9	10/01/2010 18:50	59,9
10/01/2010 10:40	59,9	10/01/2010 19:00	59,9
10/01/2010 10:50	59,8	10/01/2010 19:10	60
10/01/2010 11:00	59,9	10/01/2010 19:20	60,1
10/01/2010 11:10	60,1	10/01/2010 19:30	60,1
10/01/2010 11:20	59,9	10/01/2010 19:40	60
10/01/2010 11:30	59,9	10/01/2010 19:50	59,9
10/01/2010 11:40	59,9	10/01/2010 20:00	59,9
10/01/2010 11:50	59,9	10/01/2010 20:10	60,1
10/01/2010 12:00	60,1	10/01/2010 20:20	60,1
10/01/2010 12:10	59,9	10/01/2010 20:30	60,1
10/01/2010 20:40	59,9	11/01/2010 5:00	59,8
10/01/2010 20:50	60	11/01/2010 5:10	59,9
10/01/2010 21:00	59,9	11/01/2010 5:20	60
10/01/2010 21:10	60	11/01/2010 5:30	60,1
10/01/2010 21:20	59,8	11/01/2010 5:40	59,9
10/01/2010 21:30	59,8	11/01/2010 5:50	59,9
10/01/2010 21:40	60	11/01/2010 6:00	60,2
10/01/2010 21:50	60,1	11/01/2010 6:10	60,2
10/01/2010 22:00	60,1	11/01/2010 6:20	60,1
10/01/2010 22:10	60,2	11/01/2010 6:30	59,9
10/01/2010 22:20	60,2	11/01/2010 6:40	59,8
10/01/2010 22:30	60,2	11/01/2010 6:50	59,8
10/01/2010 22:40	60,1	11/01/2010 7:00	59,7
10/01/2010 22:50	60,1	11/01/2010 7:10	59,7
10/01/2010 23:00	60,2	11/01/2010 7:20	59,8
10/01/2010 23:10	60,1	11/01/2010 7:30	59,8
10/01/2010 23:20	59,9	11/01/2010 7:40	59,9
10/01/2010 23:30	60,1	11/01/2010 7:50	59,8
10/01/2010 23:40	59,8	11/01/2010 8:00	59,8
10/01/2010 23:50	59,8	11/01/2010 8:10	59,9
11/01/2010 0:00	60	11/01/2010 8:20	59,9
11/01/2010 0:10	60	11/01/2010 8:30	59,8
11/01/2010 0:20	60,2	11/01/2010 8:40	59,9
11/01/2010 0:30	60	11/01/2010 8:50	60,2
11/01/2010 0:40	60,2	11/01/2010 9:00	60,2
11/01/2010 0:50	60,1	11/01/2010 9:10	60,1
11/01/2010 1:00	60,2	11/01/2010 9:20	59,8

11/01/2010 1:10	60,3	11/01/2010 9:30	59,8
11/01/2010 1:20	60	11/01/2010 9:40	59,8
11/01/2010 1:30	60	11/01/2010 9:50	60,1
11/01/2010 1:40	60	11/01/2010 10:00	60,1
11/01/2010 1:50	60,4	11/01/2010 10:10	60
11/01/2010 2:00	60,2	11/01/2010 10:20	60
11/01/2010 2:10	59,8	11/01/2010 10:30	59,9
11/01/2010 2:20	59,6	11/01/2010 10:40	59,9
11/01/2010 2:30	60,1	11/01/2010 10:50	59,9
11/01/2010 2:40	60	11/01/2010 11:00	60,1
11/01/2010 2:50	60	11/01/2010 11:10	60
11/01/2010 3:00	60,1	11/01/2010 11:20	59,8
11/01/2010 3:10	60,2	11/01/2010 11:30	59,9
11/01/2010 3:20	60,4	11/01/2010 11:40	60
11/01/2010 3:30	60,2	11/01/2010 11:50	60
11/01/2010 3:40	60,3	11/01/2010 12:00	60
11/01/2010 3:50	60,1	11/01/2010 12:10	60
11/01/2010 4:00	59,8	11/01/2010 12:20	59,8
11/01/2010 4:10	60,1	11/01/2010 12:30	60
11/01/2010 4:20	60	11/01/2010 12:40	60
11/01/2010 4:30	59,9	11/01/2010 12:50	60,1
11/01/2010 4:40	60,1	11/01/2010 13:00	60,1
11/01/2010 4:50	60	11/01/2010 13:10	60,1
			59,6
			60,4

ANEXO E: REGISTRO DE ARMÓNICOS INDIVIDUALES, THDI Y THDV

Fecha de la muestra	%V L1 (%V THD)	%V L2 (%V THD)	%V L3 (%V THD)	%I L1 (%I THD)	%I L2 (%I THD)	%I L3 (%I THD)
09/01/2010 11:30	4,9	4,7	4,6	29	35,6	31
09/01/2010 11:40	6	5,8	5,5	25,7	30,6	26,4
09/01/2010 11:50	6	5,9	5,5	24,4	30,8	25,9
09/01/2010 12:00	6,1	6	5,7	25,3	27,5	22,2
09/01/2010 12:10	6,1	6	5,7	26,5	26,5	22,6
09/01/2010 12:20	6	5,7	5,4	23,5	27,7	23,4
09/01/2010 12:30	6,2	6,1	5,6	27,7	28,2	25,5
09/01/2010 12:40	6,1	6,1	5,7	24,6	30,8	21,9
09/01/2010 12:50	5,9	5,7	5,4	24,7	26,1	22,6
09/01/2010 13:00	6,3	6,3	5,9	25,3	31,1	25,5
09/01/2010 13:10	6,4	6,3	5,8	26,2	29,5	26,3
09/01/2010 13:20	6	5,9	5,5	26,2	25,7	22,3
09/01/2010 13:30	6,3	6,3	5,8	25,3	31,7	26
09/01/2010 13:40	6,1	6,1	5,8	25,9	31,9	25,6
09/01/2010 13:50	6,2	6	5,6	24,9	31,3	25,4
09/01/2010 14:00	6,4	6,3	6	24,8	30,9	25,6
09/01/2010 14:10	6,9	6,9	6,4	26,7	28,9	25,9
09/01/2010 14:20	6,6	6,4	6,1	26,4	28,5	25,9
09/01/2010 14:30	6,6	6,5	6,1	24,5	27,5	24,3
09/01/2010 14:40	6,3	6	5,7	25,4	26	23,1
09/01/2010 14:50	6,1	6,1	5,5	25,2	29	26,9
09/01/2010 15:00	6,2	6,1	5,7	27,4	31,8	26,5

09/01/2010 15:10	6	5,7	5,5	26,3	27,7	23,5
09/01/2010 15:20	6,3	6,2	5,8	25,4	29,1	25,6
09/01/2010 15:30	5,6	5,4	5,2	24,7	27,8	23,7
09/01/2010 15:40	6	6,1	5,6	24,3	27	24,4
09/01/2010 15:50	6,5	6,4	6	26,5	30,6	23,5
09/01/2010 16:00	6	5,9	5,5	25,6	24,6	22,8
09/01/2010 16:10	6,3	6,2	5,9	26,7	30,1	23,6
09/01/2010 16:20	6,4	6,3	5,9	25,8	30,8	24,4
09/01/2010 16:30	6,3	6,2	5,8	26,1	29,3	24,4
09/01/2010 16:40	5,8	5,7	5,4	27,7	30	26,3
09/01/2010 16:50	6,3	6,3	5,9	26,3	28,5	24,3
09/01/2010 17:00	5,9	5,9	5,5	25,5	27,6	24,7
09/01/2010 17:10	6,4	6,1	5,7	27,5	27,3	22,2
09/01/2010 17:20	6,2	6,1	5,8	26,2	28,3	26
09/01/2010 17:30	6,7	6,7	6,3	28,7	26,3	24,6
09/01/2010 17:40	5,9	5,6	5,4	26,3	30	25,7
09/01/2010 17:50	6	5,6	5,4	27,8	30	26,4
09/01/2010 18:00	6	5,7	5,6	26,1	28,7	22,1
09/01/2010 18:10	6,1	5,7	5,6	25,4	29,4	24,1
09/01/2010 18:20	6,4	6,2	5,8	24,5	26,2	24,9
09/01/2010 18:30	6,2	6	5,9	24,7	27,9	20,7
09/01/2010 18:40	6,2	6,3	5,8	26,1	31,1	26,1
09/01/2010 18:50	5,6	5,5	5,3	23,2	25,3	24,4
09/01/2010 19:00	5,8	5,7	5,4	22,3	24,6	22,3
09/01/2010	6,3	6,4	6,1	24,8	28,8	23,5

19:10						
09/01/2010 19:20	5,8	5,6	5,3	24,3	25,9	25,8
09/01/2010 19:30	5,5	5,4	5,1	23,8	25,9	22,6
09/01/2010 19:40	6,2	6,3	6	24	26,6	26
09/01/2010 19:50	5,9	5,6	5,4	25,4	28,7	23,8
09/01/2010 20:00	6,4	6,3	5,8	26,3	27,4	24,9
09/01/2010 20:10	5,8	5,7	5,4	25,3	26,6	22,9
09/01/2010 20:20	6,1	6,1	5,6	27,3	26,1	26,2
09/01/2010 20:30	5,6	5,4	5,2	24,2	30	25,6
09/01/2010 20:40	6	5,9	5,5	23,5	25,1	23,7
09/01/2010 20:50	5,5	5,4	5,1	22,8	24,3	22
09/01/2010 21:00	5,3	5,1	5	23,1	27,9	25,8
09/01/2010 21:10	2,5	2,5	2,2	10,4	10,5	9,2
09/01/2010 21:20	4,7	4,8	4,3	23,4	25,3	23
09/01/2010 21:30	5,9	6	5,5	24,5	27,3	26,7
09/01/2010 21:40	5,5	5,4	5	25,1	24,8	23,1
09/01/2010 21:50	6,1	6,1	5,5	23,3	30,7	25,1
09/01/2010 22:00	5,5	5,1	5	22,9	28,2	21,7
09/01/2010 22:10	6,7	6,8	6	25,7	26,2	25,3
09/01/2010 22:20	5,7	5,6	5,2	24	26,8	22,6
09/01/2010 22:30	6,8	6,8	6,2	25,1	26,4	25,7
09/01/2010 22:40	6	5,7	5,4	23,5	28,8	26,1
09/01/2010 22:50	5,9	5,9	5,5	26,2	25,6	22,3
09/01/2010 23:00	6	5,7	5,7	25,2	28,6	23,6
09/01/2010 23:10	6,1	6	5,6	24,2	26,5	23,4

09/01/2010 23:20	6,1	5,7	5,7	24,6	28,8	24,8
09/01/2010 23:30	6,6	6,6	6,2	22,8	31,4	25,9
09/01/2010 23:40	6,3	6,1	5,7	25,5	30,3	27,1
09/01/2010 23:50	6,6	6,5	6,1	24,2	25,8	24,2
10/01/2010 0:00	5,5	5,3	5,1	23,9	28,8	23,4
10/01/2010 0:10	6,5	6,3	6,1	25,7	27,1	21,9
10/01/2010 0:20	5,9	5,9	5,5	22	22	19,8
10/01/2010 0:30	5,9	5,6	5,5	22,5	28,7	20
10/01/2010 0:40	6,1	6,2	5,7	23,6	24,3	24,3
10/01/2010 0:50	5,2	5	4,8	24,5	27,9	21,4
10/01/2010 1:00	5,2	4,8	4,9	24,1	24,8	24,2
10/01/2010 1:10	6,3	6,2	5,9	24,3	27	21,7
10/01/2010 1:20	6,2	6,1	5,6	29,4	34,4	29,6
10/01/2010 1:30	6	5,9	5,7	27,8	32,5	28
10/01/2010 1:40	6,4	6,2	5,9	29,6	34,9	30,4
10/01/2010 1:50	5,8	5,9	5,6	23,2	26,9	24
10/01/2010 2:00	5,9	5,8	5,4	29,8	33,6	30,8
10/01/2010 2:10	5,3	5,2	4,8	25,1	27,8	23
10/01/2010 2:20	5,7	5,6	5,3	25,8	28,8	26,2
10/01/2010 2:30	5,9	5,8	5,4	29,7	34,4	30
10/01/2010 2:40	6	6	5,7	28,7	33,3	29,4
10/01/2010 2:50	6,3	6,3	5,8	29,9	34,6	30,7
10/01/2010 3:00	6,7	6,6	6,2	31,7	35,9	31
10/01/2010 3:10	6,7	6,6	6,2	30,5	35,6	31,2
10/01/2010	5,9	5,8	5,5	28,5	33,2	29,8

3:20						
10/01/2010 3:30	5,8	5,7	5,5	29,9	34,6	31
10/01/2010 3:40	5,5	5,3	5,2	30	35	31,7
10/01/2010 3:50	6	6,2	5,6	28,6	33,3	29,1
10/01/2010 4:00	6,2	6,2	5,7	29,6	34,5	30
10/01/2010 4:10	6,6	6,7	6,3	30,2	36	30,9
10/01/2010 4:20	6,1	6	5,7	31,1	36,1	32,2
10/01/2010 4:30	6,5	6,4	6,1	29	34,4	29,7
10/01/2010 4:40	5,9	5,8	5,4	30,4	35,9	31,9
10/01/2010 4:50	5,6	5,5	5,2	29,8	34,7	31,3
10/01/2010 5:00	5,1	4,9	4,8	30,1	35,1	32,4
10/01/2010 5:10	5,7	5,8	5,5	23,2	27	20,9
10/01/2010 5:20	5,5	5,2	5,1	25,4	29	25,8
10/01/2010 5:30	6,1	6	5,7	25,7	30,8	24,4
10/01/2010 5:40	6	5,9	5,7	26	25,1	22,9
10/01/2010 5:50	5,7	5,8	5,5	23,2	24,9	22
10/01/2010 6:00	5,6	5,7	5,3	25,6	25,7	22,8
10/01/2010 6:10	5,9	6	5,5	24,4	25,7	24,1
10/01/2010 6:20	5,2	5,2	5	25,1	24,3	25,6
10/01/2010 6:30	5,5	5,6	5,2	23,6	27,4	24,6
10/01/2010 6:40	5,6	5,5	5,3	26,5	28,4	27,4
10/01/2010 6:50	5,4	5,3	5,1	23	27,8	23,5
10/01/2010 7:00	5,3	5,3	5,1	25,3	24,8	26,2
10/01/2010 7:10	5,5	5,3	5,3	22,6	28,3	23,3
10/01/2010 7:20	5,9	6,1	5,5	24,7	30,1	26,1

10/01/2010 7:30	5,5	5,6	5,2	25,4	30,7	23,7
10/01/2010 7:40	5,6	5,8	5,6	24,2	25,6	23,6
10/01/2010 7:50	5,5	5,7	5,5	22,8	25,9	23,3
10/01/2010 8:00	5,1	5,3	4,9	23	28,7	25
10/01/2010 8:10	5,3	5,5	5,2	24,1	29,5	24,4
10/01/2010 8:20	4,8	4,9	4,8	22,1	22,8	23,5
10/01/2010 8:30	5,4	5,5	5,4	24,5	28,1	21,9
10/01/2010 8:40	5,6	5,5	5,1	24	28,5	25,2
10/01/2010 8:50	5,5	5,3	5,2	24,2	27,4	24,9
10/01/2010 9:00	5,3	5,3	5	24,7	28,3	24,1
10/01/2010 9:10	5,1	5	4,9	24,8	26,7	22,9
10/01/2010 9:20	5,6	5,5	5,2	23,7	29,1	24,7
10/01/2010 9:30	5,3	5,3	5,2	24,4	26,1	21,3
10/01/2010 9:40	5	5	4,8	24,7	25,3	21,3
10/01/2010 9:50	5,4	5,5	5,2	22,1	26,4	23,6
10/01/2010 10:00	5,2	5,3	5,1	25,1	30,1	26,1
10/01/2010 10:10	5,3	5,4	5,2	21,5	23,4	21,1
10/01/2010 10:20	5	4,8	4,7	24	28,7	25,8
10/01/2010 10:30	4,9	5	4,8	21,2	21,9	18,8
10/01/2010 10:40	5,2	5,1	4,7	22	24,5	22,1
10/01/2010 10:50	5,2	5,3	4,9	22,4	22,4	20,7
10/01/2010 11:00	4,8	4,8	4,7	24,4	27,9	23,1
10/01/2010 11:10	5,2	5,3	5	23,7	25,8	21,8
10/01/2010 11:20	4,9	4,8	4,5	22,8	24,6	21,7
10/01/2010	5,1	5,3	5	22,6	23,7	20,9

11:30						
10/01/2010 11:40	4,8	4,8	4,4	22,5	25,7	22,5
10/01/2010 11:50	5	5	4,8	24	25	21
10/01/2010 12:00	5,5	5,6	5,4	24,5	26,8	20,5
10/01/2010 12:10	5,2	5,1	4,9	23,8	24,6	24,8
10/01/2010 12:20	5,4	5,2	5	23,2	24,8	21,9
10/01/2010 12:30	5,4	5,5	5,3	24,1	27,3	23,4
10/01/2010 12:40	4,8	4,8	4,6	21,4	26,2	22,1
10/01/2010 12:50	5,2	5,2	4,9	22,5	27,2	24,5
10/01/2010 13:00	5,3	5,4	5,1	23,5	26,2	24,6
10/01/2010 13:10	5	5	4,8	23,3	24,6	23,8
10/01/2010 13:20	5,6	5,5	5,2	24,7	25,4	22,4
10/01/2010 13:30	5,4	5,2	5	24,5	26,7	23,8
10/01/2010 13:40	5	4,9	4,5	22,7	25,8	22,3
10/01/2010 13:50	4,8	4,7	4,5	21,7	25,4	21,7
10/01/2010 14:00	5	4,9	4,7	24,3	28,9	22,6
10/01/2010 14:10	5,4	5,5	5	24,9	25,6	22,6
10/01/2010 14:20	5	4,8	4,6	23	24,6	22
10/01/2010 14:30	5,8	5,5	5,4	26	30,7	23,9
10/01/2010 14:40	5,3	5,1	4,9	24,4	27,1	22,8
10/01/2010 14:50	5,6	5,4	5,3	25,6	26,8	21,1
10/01/2010 15:00	5	5	4,8	23,7	25,7	23,3
10/01/2010 15:10	5,6	5,4	5,2	25,3	27,2	22,4
10/01/2010 15:20	5,1	5,2	4,9	22,8	26,8	23,6
10/01/2010 15:30	5,6	5,5	5,4	24,6	27,2	21,2

10/01/2010 15:40	5,8	5,6	5,3	26,7	29,2	24,3
10/01/2010 15:50	5,4	5,3	5,1	22	25,9	21,5
10/01/2010 16:00	4,9	4,9	4,7	23	25,2	20,8
10/01/2010 16:10	5,2	5,2	4,9	23,9	27,5	23,6
10/01/2010 16:20	4,9	4,9	4,7	22,5	25,5	21,4
10/01/2010 16:30	5,2	5,1	4,9	25	26,6	25,1
10/01/2010 16:40	5,1	4,9	4,8	23,2	24,7	21
10/01/2010 16:50	5,5	5,4	5,2	23,6	28	24,9
10/01/2010 17:00	5,3	5,3	4,9	25,5	29,2	23,5
10/01/2010 17:10	5	5	4,8	24,6	25,5	24,4
10/01/2010 17:20	4,8	5	4,7	23,1	24,1	21,3
10/01/2010 17:30	5,5	5,6	5,4	24,3	29,5	24,6
10/01/2010 17:40	5,3	5,2	5,1	23,4	26,8	21,8
10/01/2010 17:50	4,8	4,9	4,8	25,4	30,4	25,5
10/01/2010 18:00	5,3	5,3	5	25	31	22,3
10/01/2010 18:10	4,9	4,8	4,6	22,8	27,2	22,2
10/01/2010 18:20	4,5	4,5	4,4	24	26,2	19,2
10/01/2010 18:30	4,8	4,9	4,8	23,1	22,8	23,2
10/01/2010 18:40	5	5	4,9	23,6	28,1	24,8
10/01/2010 18:50	4,4	4,5	4,2	24	24,9	26
10/01/2010 19:00	5,1	5,1	4,8	24,1	26,8	22,3
10/01/2010 19:10	4,9	4,7	4,4	26,4	33	26,9
10/01/2010 19:20	5,1	5,1	4,7	24,3	28,5	25,3
10/01/2010 19:30	5,5	5,1	5	25,3	28	23,6
10/01/2010	5,2	5,1	4,8	23,2	23,5	21,2

19:40						
10/01/2010 19:50	5	4,7	4,6	23,4	26,7	22,6
10/01/2010 20:00	5,2	4,8	4,7	23,2	27,9	23,6
10/01/2010 20:10	5,1	4,8	4,6	23,2	27,4	26,6
10/01/2010 20:20	4,9	4,9	4,7	22,8	27,4	24,3
10/01/2010 20:30	4,9	4,6	4,3	23,6	26,1	22,4
10/01/2010 20:40	5	4,8	4,6	23,6	22,8	21,9
10/01/2010 20:50	5,1	5	4,8	22,7	31	23
10/01/2010 21:00	4,8	4,6	4,4	24,4	27,1	22,4
10/01/2010 21:10	5	4,9	4,6	23,4	25,6	25
10/01/2010 21:20	5	4,8	4,6	25,1	26,8	21,7
10/01/2010 21:30	5	4,8	4,5	24,2	26,9	25,3
10/01/2010 21:40	5	5,2	4,7	22,7	24,6	23
10/01/2010 21:50	4,8	4,6	4,4	24,8	25,9	20,7
10/01/2010 22:00	5	5	4,6	22,9	26,6	23,6
10/01/2010 22:10	4,7	4,3	4,4	23,1	26	24,3
10/01/2010 22:20	4,8	4,9	4,5	23,1	27,7	22,8
10/01/2010 22:30	4,7	4,4	4,4	27,6	33,8	30,7
10/01/2010 22:40	5,3	5	4,9	24,7	27	20,3
10/01/2010 22:50	5	4,9	4,7	23,1	23,8	22,8
10/01/2010 23:00	4,7	4,5	4,4	22,4	27,2	20,2
10/01/2010 23:10	5	4,9	4,7	21,8	22,7	23,2
10/01/2010 23:20	4,6	4,5	4,2	22,6	25,1	22
10/01/2010 23:30	4,6	4,4	4,4	24	28,3	25,3
10/01/2010 23:40	4,5	4,3	4,3	23,4	24,6	21,9

10/01/2010 23:50	4,6	4,4	4,4	28,8	34	30,7
11/01/2010 0:00	5,2	5,1	4,9	28,5	33,2	29
11/01/2010 0:10	4,8	4,6	4,6	27,6	31,9	29,1
11/01/2010 0:20	5,3	5,2	5	28,9	33,2	30,1
11/01/2010 0:30	5	4,8	4,7	29,4	34,3	31,4
11/01/2010 0:40	5,1	4,9	4,8	29,5	34,7	31,6
11/01/2010 0:50	5,1	4,9	4,8	29	33,8	30,5
11/01/2010 1:00	4,8	4,4	4,4	29,5	33,9	31,2
11/01/2010 1:10	5,5	5,6	5,1	29,4	34,4	30,4
11/01/2010 1:20	5	4,9	4,8	28,4	34	30,5
11/01/2010 1:30	5,3	5,2	5	30,3	34,9	31,9
11/01/2010 1:40	5,3	5,3	5,1	29,2	34,7	30,7
11/01/2010 1:50	5	4,9	4,7	29,1	34,4	31,1
11/01/2010 2:00	5,2	5,2	5	29,5	35,3	31,4
11/01/2010 2:10	5,3	5,2	5	29,7	35,4	31,4
11/01/2010 2:20	5,7	5,8	5,4	30,5	36,7	31,7
11/01/2010 2:30	5,3	5,3	5	31,2	35,3	31,1
11/01/2010 2:40	5,4	5,3	5,1	23,6	28,6	26
11/01/2010 2:50	5,4	5,4	5	23,2	28	24,4
11/01/2010 3:00	5,2	5,2	4,9	22,9	29,3	24,6
11/01/2010 3:10	5	4,9	4,5	24,1	25,8	25
11/01/2010 3:20	5,1	5,3	4,9	24,3	27,6	27,2
11/01/2010 3:30	4,4	4,3	4,2	23,4	26	21,7
11/01/2010 3:40	4,9	4,6	4,6	26	30	23,9
11/01/2010	4,5	4,3	4,4	24,4	25	24,8

3:50						
11/01/2010 4:00	5,4	5,6	5,3	24,5	28,7	25,6
11/01/2010 4:10	5	4,8	4,4	24,7	26,3	24,5
11/01/2010 4:20	5,5	5,5	5,2	24,6	29,1	22,8
11/01/2010 4:30	5,1	5,1	4,8	22,9	25,2	24,6
11/01/2010 4:40	5	4,9	4,7	23,9	25,4	21,4
11/01/2010 4:50	5,3	5,5	5	22,6	23,9	23,7
11/01/2010 5:00	5,3	5,4	5	24,8	25	23,2
11/01/2010 5:10	5,3	5,2	5	23,1	27	22,5
11/01/2010 5:20	6,1	6,2	5,7	26,7	28,8	26,4
11/01/2010 5:30	5,2	5,2	4,9	25,7	24,3	24,4
11/01/2010 5:40	5,5	5,4	5,1	24,5	27,1	24,3
11/01/2010 5:50	4,9	4,7	4,5	25,9	28,2	24,5
11/01/2010 6:00	6,2	6,1	5,6	24,1	29,8	25,9
11/01/2010 6:10	6	6,2	5,8	28,3	30,7	25
11/01/2010 6:20	6,3	6,3	5,8	24,7	28,8	24,5
11/01/2010 6:30	4,9	4,8	4,6	25,3	28,1	24,9
11/01/2010 6:40	5,1	4,9	4,7	25,2	24,9	23,5
11/01/2010 6:50	5,2	5	4,7	25,4	31,1	23,7
11/01/2010 7:00	5,8	5,7	5,3	25	25,4	25,5
11/01/2010 7:10	5,6	5,7	5,4	25,5	30,6	24,4
11/01/2010 7:20	6	6	5,7	27	29,7	27,1
11/01/2010 7:30	5,8	6,2	5,8	16,3	17,6	14,9
11/01/2010 7:40	5,5	5,7	5,5	16,8	19,3	16,3
11/01/2010 7:50	5,5	5,9	5,5	19,7	20,6	18,7

11/01/2010 8:00	6,2	6,4	5,9	20,9	24	21,8
11/01/2010 8:10	6	6,2	5,8	20,4	23,8	21
11/01/2010 8:20	6,1	6,4	6	23,5	25	23,1
11/01/2010 8:30	6	6,1	5,8	25,1	27,5	22,4
11/01/2010 8:40	6	6,4	5,8	23,3	28,2	24,4
11/01/2010 8:50	6,1	6,3	6,1	23,9	26,7	22,3
11/01/2010 9:00	6,4	6,5	6,2	22,3	26,7	20,4
11/01/2010 9:10	6,7	7	6,4	24,1	28,6	24,3
11/01/2010 9:20	6,2	6,4	6	24,1	27,3	24
11/01/2010 9:30	6,4	6,7	6,1	23,8	28,3	22,1
11/01/2010 9:40	5,9	6,1	5,8	26	29,2	25,6
11/01/2010 9:50	5,7	5,9	5,6	22,1	23,5	19,3
11/01/2010 10:00	6,4	6,6	6,1	27,6	32	27,4
11/01/2010 10:10	5,8	6	5,6	24,8	27,5	25,8
11/01/2010 10:20	7	7,2	6,4	24,7	31,1	27,1
11/01/2010 10:30	5,8	6	5,4	24,4	28,2	26
11/01/2010 10:40	5,8	6,1	5,6	22,6	25,9	21,6
11/01/2010 10:50	6,2	6,2	5,7	25,5	28,8	26,4
11/01/2010 11:00	5,9	5,9	5,5	22,7	26,6	22,5
11/01/2010 11:10	5,6	5,8	5,2	22,7	24,6	23,7
11/01/2010 11:20	6,2	6,5	5,8	23,7	25,9	23
11/01/2010 11:30	5,4	5,3	5,1	23,3	26,8	24,6
11/01/2010 11:40	6,7	7,2	6,3	22,9	28,8	22,4
11/01/2010 11:50	6,4	6,9	6	24,2	31,6	25,6
11/01/2010	5,3	5,3	5,1	18,2	20,4	19

12:00						
11/01/2010 12:10	6,1	6,2	5,7	23,2	26	21,3
11/01/2010 12:20	5,9	6,2	5,6	24,3	29,5	24,9
11/01/2010 12:30	5,6	5,8	5,3	23,1	26	24,7
11/01/2010 12:40	6	6,3	5,5	24,3	30	26,3
11/01/2010 12:50	5,8	6	5,5	22,3	26,7	22,3
11/01/2010 13:00	6,2	6,4	5,9	24	27,2	23,4
11/01/2010 13:10	6,4	6,6	6,1	20,5	25,4	21,3
	2,5	2,5	2,2	10,4	10,5	9,2
	7	7,2	6,4	31,7	36,7	32,4

ANEXO F: REGISTRO DE POTENCIA ACTIVA

Fecha de la muestra	P. Activa: III + (W)		
		09/01/2010 19:40	325093
09/01/2010 11:30	312496	09/01/2010 19:50	324219
09/01/2010 11:40	315291	09/01/2010 20:00	329023
09/01/2010 11:50	313039	09/01/2010 20:10	329633
09/01/2010 12:00	311473	09/01/2010 20:20	324307
09/01/2010 12:10	316971	09/01/2010 20:30	323699
09/01/2010 12:20	323427	09/01/2010 20:40	329986
09/01/2010 12:30	327532	09/01/2010 20:50	328676
09/01/2010 12:40	339670	09/01/2010 21:00	312778
09/01/2010 12:50	329021	09/01/2010 21:10	209721
09/01/2010 13:00	328495	09/01/2010 21:20	278542
09/01/2010 13:10	330424	09/01/2010 21:30	321245
09/01/2010 13:20	337143	09/01/2010 21:40	329630
09/01/2010 13:30	323169	09/01/2010 21:50	331467
09/01/2010 13:40	323517	09/01/2010 22:00	326928
09/01/2010 13:50	333035	09/01/2010 22:10	326053
09/01/2010 14:00	325439	09/01/2010 22:20	319330
09/01/2010 14:10	322382	09/01/2010 22:30	331380
09/01/2010 14:20	322819	09/01/2010 22:40	324654
09/01/2010 14:30	335220	09/01/2010 22:50	323435
09/01/2010 14:40	325790	09/01/2010 23:00	326839
09/01/2010 14:50	321510	09/01/2010 23:10	328764
09/01/2010 15:00	329461	09/01/2010 23:20	319069
09/01/2010 15:10	330771	09/01/2010 23:30	318191
09/01/2010 15:20	325266	09/01/2010 23:40	327715
09/01/2010 15:30	323870	09/01/2010 23:50	320816
09/01/2010 15:40	339244	10/01/2010 0:00	317670
09/01/2010 15:50	329109	10/01/2010 0:10	320379
09/01/2010 16:00	327014	10/01/2010 0:20	329898
09/01/2010 16:10	328152	10/01/2010 0:30	318372
09/01/2010 16:20	337842	10/01/2010 0:40	319070
09/01/2010 16:30	328408	10/01/2010 0:50	327367
09/01/2010 16:40	326134	10/01/2010 1:00	323611
09/01/2010 16:50	332776	10/01/2010 1:10	318454
09/01/2010 17:00	334524	10/01/2010 1:20	321337
09/01/2010 17:10	324391	10/01/2010 1:30	328064
09/01/2010 17:20	328762	10/01/2010 1:40	318280
09/01/2010 17:30	333390	10/01/2010 1:50	318193
09/01/2010 17:40	330682	10/01/2010 2:00	326406
09/01/2010 17:50	328320	10/01/2010 2:10	322823
09/01/2010 18:00	324914	10/01/2010 2:20	316623

09/01/2010 18:10	332515	10/01/2010 2:30	320203
09/01/2010 18:20	324742	10/01/2010 2:40	325791
09/01/2010 18:30	325883	10/01/2010 2:50	314349
09/01/2010 18:40	327107	10/01/2010 3:00	316269
09/01/2010 18:50	331471	10/01/2010 3:10	324306
09/01/2010 19:00	333736	10/01/2010 3:20	322470
09/01/2010 19:10	326485	10/01/2010 3:30	315048
09/01/2010 19:20	327976	10/01/2010 3:40	320204
09/01/2010 19:30	337057	10/01/2010 3:50	328062
10/01/2010 4:00	318192	10/01/2010 12:20	313211
10/01/2010 4:10	317319	10/01/2010 12:30	315048
10/01/2010 4:20	324918	10/01/2010 12:40	315831
10/01/2010 4:30	323869	10/01/2010 12:50	326575
10/01/2010 4:40	320550	10/01/2010 13:00	324389
10/01/2010 4:50	314173	10/01/2010 13:10	321678
10/01/2010 5:00	329459	10/01/2010 13:20	318018
10/01/2010 5:10	317232	10/01/2010 13:30	323693
10/01/2010 5:20	316012	10/01/2010 13:40	317927
10/01/2010 5:30	315571	10/01/2010 13:50	317667
10/01/2010 5:40	328322	10/01/2010 14:00	315921
10/01/2010 5:50	321950	10/01/2010 14:10	324565
10/01/2010 6:00	320463	10/01/2010 14:20	323956
10/01/2010 6:10	321949	10/01/2010 14:30	317407
10/01/2010 6:20	332778	10/01/2010 14:40	323953
10/01/2010 6:30	320639	10/01/2010 14:50	334174
10/01/2010 6:40	325357	10/01/2010 15:00	325700
10/01/2010 6:50	320374	10/01/2010 15:10	322734
10/01/2010 7:00	331642	10/01/2010 15:20	330419
10/01/2010 7:10	319503	10/01/2010 15:30	329459
10/01/2010 7:20	321426	10/01/2010 15:40	318104
10/01/2010 7:30	324919	10/01/2010 15:50	299765
10/01/2010 7:40	329199	10/01/2010 16:00	300464
10/01/2010 7:50	321338	10/01/2010 16:10	312516
10/01/2010 8:00	317056	10/01/2010 16:20	302559
10/01/2010 8:10	325441	10/01/2010 16:30	303084
10/01/2010 8:20	325967	10/01/2010 16:40	303084
10/01/2010 8:30	319849	10/01/2010 16:50	300896
10/01/2010 8:40	319238	10/01/2010 17:00	302298
10/01/2010 8:50	325964	10/01/2010 17:10	305003
10/01/2010 9:00	323956	10/01/2010 17:20	304829
10/01/2010 9:10	318542	10/01/2010 17:30	312251
10/01/2010 9:20	318890	10/01/2010 17:40	305355
10/01/2010 9:30	328671	10/01/2010 17:50	301861

10/01/2010 9:40	319938	10/01/2010 18:00	301074
10/01/2010 9:50	319067	10/01/2010 18:10	303611
10/01/2010 10:00	321075	10/01/2010 18:20	302740
10/01/2010 10:10	327278	10/01/2010 18:30	300376
10/01/2010 10:20	312429	10/01/2010 18:40	314963
10/01/2010 10:30	320898	10/01/2010 18:50	301599
10/01/2010 10:40	323872	10/01/2010 19:00	301948
10/01/2010 10:50	325619	10/01/2010 19:10	302472
10/01/2010 11:00	320720	10/01/2010 19:20	304393
10/01/2010 11:10	314525	10/01/2010 19:30	301771
10/01/2010 11:20	316533	10/01/2010 19:40	303610
10/01/2010 11:30	324310	10/01/2010 19:50	305530
10/01/2010 11:40	313565	10/01/2010 20:00	309460
10/01/2010 11:50	322904	10/01/2010 20:10	304744
10/01/2010 12:00	320024	10/01/2010 20:20	301686
10/01/2010 12:10	325879	10/01/2010 20:30	305441
10/01/2010 20:40	302209	11/01/2010 5:00	303173
10/01/2010 20:50	300111	11/01/2010 5:10	306318
10/01/2010 21:00	302034	11/01/2010 5:20	300904
10/01/2010 21:10	302123	11/01/2010 5:30	300641
10/01/2010 21:20	306137	11/01/2010 5:40	298459
10/01/2010 21:30	304652	11/01/2010 5:50	301166
10/01/2010 21:40	301512	11/01/2010 6:00	300113
10/01/2010 21:50	304569	11/01/2010 6:10	300725
10/01/2010 22:00	302387	11/01/2010 6:20	301862
10/01/2010 22:10	304655	11/01/2010 6:30	303521
10/01/2010 22:20	301688	11/01/2010 6:40	303519
10/01/2010 22:30	303084	11/01/2010 6:50	302125
10/01/2010 22:40	302124	11/01/2010 7:00	302555
10/01/2010 22:50	300900	11/01/2010 7:10	300721
10/01/2010 23:00	302382	11/01/2010 7:20	398796
10/01/2010 23:10	307798	11/01/2010 7:30	495997
10/01/2010 23:20	301514	11/01/2010 7:40	443423
10/01/2010 23:30	302299	11/01/2010 7:50	422461
10/01/2010 23:40	299766	11/01/2010 8:00	410150
10/01/2010 23:50	302039	11/01/2010 8:10	396871
11/01/2010 0:00	297840	11/01/2010 8:20	387707
11/01/2010 0:10	297578	11/01/2010 8:30	379499
11/01/2010 0:20	298890	11/01/2010 8:40	373910
11/01/2010 0:30	301072	11/01/2010 8:50	363077
11/01/2010 0:40	299678	11/01/2010 9:00	358711
11/01/2010 0:50	299414	11/01/2010 9:10	364565
11/01/2010 1:00	301250	11/01/2010 9:20	373820

11/01/2010 1:10	299679	11/01/2010 9:30	379937
11/01/2010 1:20	301598	11/01/2010 9:40	356183
11/01/2010 1:30	309631	11/01/2010 9:50	363432
11/01/2010 1:40	300902	11/01/2010 10:00	363517
11/01/2010 1:50	303871	11/01/2010 10:10	382212
11/01/2010 2:00	301164	11/01/2010 10:20	365003
11/01/2010 2:10	301775	11/01/2010 10:30	358014
11/01/2010 2:20	299506	11/01/2010 10:40	356268
11/01/2010 2:30	302999	11/01/2010 10:50	349982
11/01/2010 2:40	299242	11/01/2010 11:00	356529
11/01/2010 2:50	301339	11/01/2010 11:10	353734
11/01/2010 3:00	299853	11/01/2010 11:20	367013
11/01/2010 3:10	298368	11/01/2010 11:30	416354
11/01/2010 3:20	302471	11/01/2010 11:40	408500
11/01/2010 3:30	298804	11/01/2010 11:50	405178
11/01/2010 3:40	300552	11/01/2010 12:00	384658
11/01/2010 3:50	301950	11/01/2010 12:10	356618
11/01/2010 4:00	298807	11/01/2010 12:20	356532
11/01/2010 4:10	299940	11/01/2010 12:30	369981
11/01/2010 4:20	301076	11/01/2010 12:40	358451
11/01/2010 4:30	300553	11/01/2010 12:50	359500
11/01/2010 4:40	302737	11/01/2010 13:00	355135
11/01/2010 4:50	299418	11/01/2010 13:10	363434



ANEXO G: ANALIZADOR DE REDES ELÉCTRICAS



ANEXO H: ANALIZADOR DE REDES ELECTRICAS EN PROCESO DE MEDICION



ANEXO I:
BANCO DE CONDENSADORES DE LA PLANTA INDUSTRIAL

BIBLIOGRAFIA

- [1] Instalaciones Eléctricas, Tomo I, Albert F. Spitta – Gunter G. Seip
- [2] Power Electronics: Converters, Applications and Design, Mohan, Undeland y Robbins, John Wiley y Sons, 2º Ed., New York, 1995.
- [3] Watanave E. Aredes M. 1998, Teoría de Potencia Activa e Reativa Instantánea e aplicacoes-Filtros Ativos e FACTS-COPPE/UFRJ
- [4] Grady M. 2006. Understanding Power Systems Harmonics Dept. of Electrical & Computer Engineering University of Texas at Austen-USA, p. 1-182
- [5] Galhardo M. Pinho J. 2003. Conceitos de Distorcao e Nao-Linearidades. Seminario Brasileiro sobre Qualidade da energia Eléctrica. Aracaju – Sergipe – Brasil, p.1-7.
- [6] IEEE Standard 519-92 Recommended Practices and Requirements for harmonic Control in Electric Power Systems, 1992.
- [7] Chapman SJ Maquinas Electric as Editorial McGraw – Hill 2a edicion
- [8] F.Z. Peng, H. Akagi, A Nabae, A novel harmonic power filter, in Proc. IEEE/PESC, April, 1988, pp. 1151-1159
- [9] Akagi, H. New trends in active filters for Power conditioning, Industry Applications. IEEE Transactions on vol. 32, Issue 6, pages 410-416-1312-1322 Nov. Dec.1996.
- [10] H. Fujita, T. Yamasaki, H. Akagi, A hybrid active power filter for damping of harmonic resonance in industrial power systems, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 15, N° 2, pages 215-222, March 2000.
- [11] P. Sameron, J:C. Montano, J.R. Vasquez, J. Prieto and A. Perez, Compensation in Nonsinusoidal, Unbalanced Three-Phase, Four-Wire Systems UIT Active Power-Line conditioner, IEE Trans. On Power Delivery Vol. 19 N° 4, October - 2004, pp. 968 - 974.
- [12] Origin, Development and design of k-factor Transformers IEEE industrial Applications Magazine. Setiembre 1996.

- [13] D.A Gonzalez and J.C McCall, Design of filters to reduce harmonic distortion in industrial power systems, IEEE Trans.Ind.App., vol. IA-23, pp. 504-512, May/June/ 1987.
- [14] IEEE Std. 1531-2003: IEEE Guide for application and specifications of harmonic filters. IEEE 2003.
- [15] A.E Emanuel Harmonics in de carly years of electrical engineering; a brief review of events, people and documents , in Proc. IEEE ICHQP 2000, Oct. 2000, pp. 1-7
- [16] European Standard EN-50160: Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, CENELEC, 1994.
- [17] IEEE Std. 1195-1995; IEEE Recommended practice for monitoring electric power quality IEEE 1995.
- [18] M.Rastogi, N. Mohan, and A. A. Edris, Hybrid active filtering of harmonic currents in power systems, IEEE Trans. Power Delivery, vol. 10, pp. 1994-2000, Oct. 1995
- [19] Bettega E., Fiorina J. 2003. Armónicos: Rectificadores y Compensadores Activos. Schneider Electric CT n° 183, p. 1-35
- [20] IEEE Std. 519 1992, IEEE Recommended and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.
- [21] F. Z. Peng and d. J Adams, Harmonics sources and filtering approaches, in Proc. Industry Applications Conference, October 1999, Vol, I, pp. 448-455.
- [22] A. Ghosh, A. K. Jindal, A. Joshi, Design of a capacitor-supported dynamic voltage restorer (DVR= for unbalanced and distorted loads, IEEE Trans. Power delivery. Vo, 19, no, I. January 2004, p. 405-413.
- [23] L. F. C. Monteiro, M. Aredes, and J A. Moor Neto, A control strategy for unified power quality conditioner, in Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron, vol. I, 2003, pp. 391-396.