

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

**“ANÁLISIS RESIDENCIAL DE ARMÓNICOS PARA USUARIOS
TIPO A (PLAN PILOTO) DE LA CIUDAD DE LATACUNGA Y
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS ATENUADORES”**

GABRIEL ESTEBAN ASQUI SANTILLÁN

LORENA JANETH VELASCO MOLINA

Tesis presentada como requisito previo a la obtención del grado de

INGENIERO ELECTRÓNICO E INSTRUMENTACIÓN

Año 2010

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por Lorena Velasco y Gabriel Asqui, bajo nuestra supervisión.

Ing. Marcelo Silva DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. José Bucheli CODIRECTOR DE PROYECTO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

AUTORIZACIÓN

Nosotros: Gabriel Esteban Asqui Santillán

Lorena Janeth Velasco Molina

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “ANÁLISIS RESIDENCIAL DE ARMÓNICOS PARA USUARIOS TIPO A (PLAN PILOTO) EN LA CIUDAD DE LATACUNGA Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS ATENUADORES” cuyo contenido, ideas y criterios es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Octubre del 2010

Gabriel Esteban Asqui Santillán

0603587155

Lorena Janeth Velasco Molina

0502967862

DEDICATORIA

A Dios y a la Santísima Virgen del Cisne por iluminarme, guiarme por un buen camino y sobretodo ser mis compañeros inseparables durante cada instante de mi vida.

A mis queridos padres Luis y Guadalupe, gracias por protegerme y guiarme en cada etapa de mi vida, han sido un ejemplo de honestidad, honradez, esfuerzo y perseverancia. A Uds. debo lo que soy.

A mi querida hermana Viviana, quien con su apoyo incondicional incentivó en mi, el estar más cerca de mis metas.

A mi segunda Madre Manuelita quién con su enorme esfuerzo y sacrificio cuidó de mi desde mi niñez, siendo un ejemplo de valentía, amor y respeto.

A mi amado Roberto, quién con su amor fiel, respeto y constancia impulso en mi el deseo de llegar a ser cada día una mejor persona.

A princesa siendo una amiga en mi vida y un motivo más de alegría y felicidad con sus gestos de cariño impartidos cada día.

Lorena Velasco

DEDICATORIA

A Dios, por ser el principal e inseparable guía en todo mi camino.

A mis queridos padres Juan y Susana, gracias por protegerme y guiarme cada día de mi vida, han sido un verdadero ejemplo de trabajo, honestidad, honradez y perseverancia.

A mis queridos hermanos, quien con su apoyo incondicional estuvieron cerca de mi para apoyarme en cada decisión que he tomado.

Gabriel Asqui

AGRADECIMIENTOS

Ante todo a Dios y a la Santísima Virgen del Cisne, gracias por otorgarme cada día la sabiduría y la salud para haber logrado dar un paso más en mi vida.

A la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO que a través de mis maestros me ha formado profesionalmente.

A mis amigos, gracias por estar y compartir bellos y malos momentos juntos.

Lorena Velasco

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme cada día la salud e inteligencia y así poder lograr dar este tan anhelado e importante paso en mi vida.

A la ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO que a través de mis maestros me ha formado profesionalmente.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la culminación con éxito de la presente Tesis de Grado.

Gabriel Asqui

ÍNDICE

1	FUNDAMENTOS DEL PROYECTO	1
1.1	IMPORTANCIA DEL PROYECTO.	1
1.2	ARMÓNICOS.	3
1.2.1	ORIGEN DE LOS ARMÓNICOS.	4
1.2.2	DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL.	5
1.2.3	SERIES DE FOURIER.	6
1.3	FACTOR DE POTENCIA.	9
1.3.1	INFLUENCIA DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA EN EL FACTOR DE POTENCIA.	11
1.4	MEDIDORES DE ARMÓNICOS.	12
1.4.1	FLUKE 1735	12
1.4.2	FLUKE 435	13
1.4.3	AEMC 3945	14
1.5	FILTROS.	16
1.5.1	CARACTERÍSTICAS.	16
1.5.2	FILTROS PASA BAJO	17
1.5.3	FILTRO PASA ALTAS.	17
1.5.4	FILTRO PASA BANDA.	18
1.5.5	FILTRO RECHAZA BANDA.	19

ÍNDICE	ix
2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	20
2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ARMÓNICOS.	20
2.2 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DE LOS FILTROS.	21
2.3 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS.	21
2.3.1 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE CARGA EN LA IMPEDANCIA DE UN CONDENSADOR.	23
2.4 FILTRO PASA ALTO DE SEGUNDO ORDEN SINTONIZADO EN EL TERCER ARMÓNICO.	24
3 PRUEBAS EXPERIMENTALES	28
3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.	28
3.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES.	30
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
3.4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.	32
3.4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.	32
3.4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO.	35
3.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.	35
4 FUNDAMENTOS DEL PROYECTO	36
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
4.1.1 CONCLUSIONES	36
4.1.2 RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFIA	38
ANEXOS	39

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Armónicos de corriente.	2
1.2	Inversor Multinivel.	2
1.3	Onda de voltaje fundamental monofásica.	3
1.4	Onda Fundamental sin distorsión bifásica.	3
1.5	Respuesta de carga no lineal.	4
1.6	Señal con Distorsión armónica y Señal Fundamental.	5
1.7	Influencia de la distorsión armónica en la señal eléctrica.	6
1.8	Obtención de una señal cuadrada a partir de la suma de señales sinusoidales.	7
1.9	Triángulo para poder representar de forma compacta la serie de fourier	8
1.10	Distorsión de Corriente de Línea.	10
1.11	Vista frontal Fluke 1735	13
1.12	Vista frontal Fluke 435	14
1.13	Vista frontal del equipo AEMC 3945	15
1.14	Respuesta de un filtro pasa bajos.	17
1.15	Respuesta de un filtro pasa altos.	18
1.16	Respuesta de un filtro pasa banda.	18
1.17	Respuesta de un filtro rechaza banda.	19
2.1	Filtro Pasa Banda o Sintonizado Simple.	23
2.2	Efecto de la variación de carga sobre la impedancia del sistema. . .	24

2.3	Filtro pasa alto de segundo orden.	25
2.4	Comportamiento en frecuencia de un filtro Pasa Altos de Segundo Orden.	26
2.5	Influencia del Factor de calidad en la impedancia característica del filtro.	26
3.1	Parte delantera del filtro Pasa Altos de Segundo Orden.	29
3.2	Parte trasera del filtro Pasa Altos de Segundo Orden.	29
3.3	Parte Interna del filtro Pasa Altos de Segundo Orden.	29
3.4	Respuesta de frecuencia del filtro.	30
3.5	Armónicos antes y después de aplicar el filtro a un foco ahorrador. .	30
3.6	Ondas de voltaje y corriente antes y después de aplicar el filtro a un foco ahorrador.	31
3.7	Armónicos antes y después de aplicar el filtro a una computadora de escritorio.	31
3.8	Ondas de voltaje y corriente antes y después de aplicar el filtro a una computadora de escritorio.	31
3.9	Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 1.	32
3.10	Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 2.	32
3.11	Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 3.	34
3.12	Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 4.	34

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Características técnicas del equipo AEMC 3945.	15
2.1	Porcentajes de Armónicos y THD presentes en las residencias. . . .	22
2.2	Especificación de requisitos de los filtros.	23
3.1	Porcentajes de Armónicos y THD presentes en las residencias, una vez colocado el filtro.	33
3.2	Características técnicas.	33

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la realidad de la calidad de energía en los usuarios tipo A de la ciudad de Latacunga tomando como muestra el sector de Locoá, detectando la presencia de armónicos producidos por este tipo de usuarios y su influencia en el aumento del factor THD. Además se muestra la solución más adecuada y barata para este tipo de cargas, con el fin de llevar el factor THD a un valor cercano a cero.

ABSTRACT

In this paper we present the reality of power quality in user type A in the city of Latacunga taking as example the sector of Locoá, especially the presence of harmonics produced by these users and their influence on the increase THD factor. It also shows the best solution and price for this type of load, in order to bring the THD factor to a value close to zero.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS DEL PROYECTO

1.1 IMPORTANCIA DEL PROYECTO.

Siempre ha sido prioridad de las Empresas Eléctricas del país brindar el mejor servicio en la entrega de energía eléctrica hacia los usuarios, pero uno de los problemas que existen en la distribución de energía son los efectos nocivos de los armónicos presentes en los circuitos en corriente alterna de baja tensión y acometidas de los usuarios, incidiendo directamente en el aumento en forma negativa del factor de potencia. Este parámetro al sufrir variación hace que los conductores soporten mayores corrientes, con el consiguiente riesgo de deterioro; y producen energía reactiva que hacen perder efectividad a la corriente, debido a estas causas es necesario realizar una corrección que permita llevar al factor de potencia a un valor cercano a uno y al THD cercano a cero.

Teniendo latente este problema y para brindar una alternativa económica a largo plazo a los hogares del sector de Locoá en la ciudad de Latacunga, cuyo consumo sobrepasa los 350 Kw/h, es decir considerados del tipo A. Se aspira determinar mediante mediciones los efectos de los armónicos en la calidad de la energía, generados por cada uno de los equipos y electrodomésticos comúnmente presentes en los hogares de este sector, por lo cual se ha planteado este tema de tesis que tiene por título:

“Análisis residencial de armónicos para usuarios tipo A (plan piloto) en el sector Locoá de la ciudad de Latacunga y diseño e implementación de filtros atenuadores”

Considerando el mercado potencial se diseñará el filtro más económico y óptimo, que permita atenuar en un alto porcentaje el efecto producido por los armónicos.

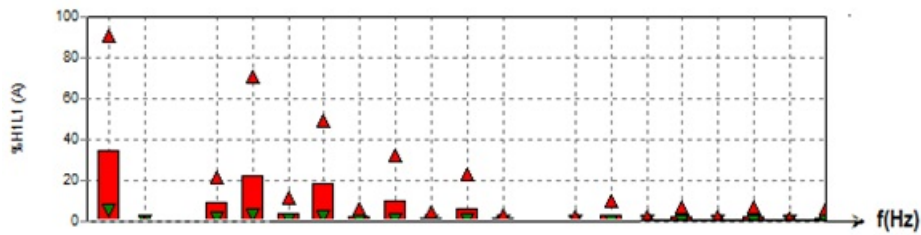


Figura 1.1: Armónicos de corriente.

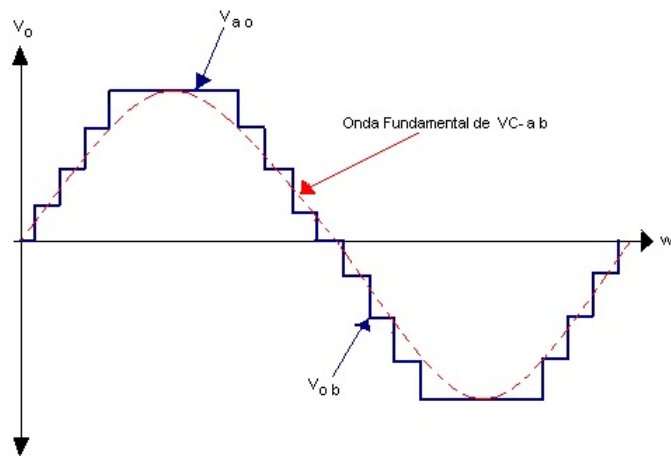


Figura 1.2: Inversor Multinivel.

Luego de lo cual se procederá a realizar nuevamente mediciones para comprobar la efectividad de los mismos.

Existen varias formas de atenuar armónicos, por ejemplo se los puede atenuar trabajando a mayores frecuencias ya que cuando la frecuencia aumenta la amplitud del armónico disminuye como se ve en la figura 1.1.

Otra alternativa sería que los electrodomésticos que los fabricantes diseñan produzcan menos armónicos, por ejemplo si un aparato tiene un inversor DC-AC debería diseñarse para que no produzca una señal cuadrada pura, sino una señal como se muestra en la figura 1.2, la que permite la supresión del tercero y quinto armónico.

Estas alternativas son efectivas pero no viables ya que todos los electrodomésticos trabajan a una frecuencia de 60Hz o 50Hz, y están diseñados de cierta forma que es difícil anexar interiormente un aparato supresor de armónicos. Es por este motivo que el implementar filtros atenuadores externos es la mejor opción para solventar este problema.

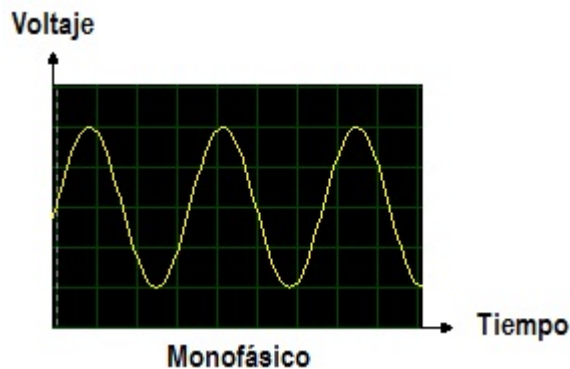


Figura 1.3: Onda de voltaje fundamental monofásica.

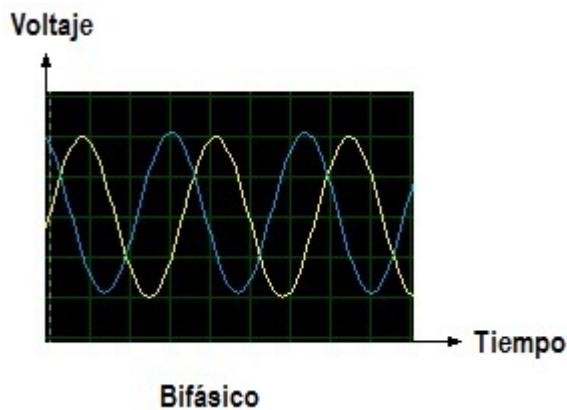


Figura 1.4: Onda Fundamental sin distorsión bifásica.

1.2 ARMÓNICOS.¹

Los armónicos son señales senoidales o cosenoidales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la Frecuencia fundamental de la alimentación, como podemos darnos cuenta en las figuras 1.3 y 1.4.

Así, en sistemas con frecuencia de 60 Hz y cargas monofásicas, las armónicas características son la tercera (180 Hz), quinta (300 Hz), y séptima (420 Hz) por ejemplo. Con el creciente aumento en el uso de cargas no lineales (procedentes de la electrónica de potencia), se han empezado a tener algunos problemas en las instalaciones eléctricas debido a los efectos de las componentes armónicas de corrientes y voltajes en el sistema eléctrico, que no se contemplaban anteriormente. Entre estos están el sobrecalentamiento de cables, corrientes excesivas en el neutro, fenómenos de resonancia entre los elementos del circuito (si se cuentan con bancos de capaci-

¹<http://www.suomitec.com/Suomitec/armonicos.htm>

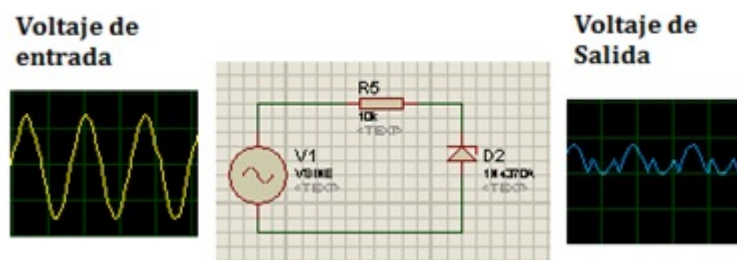


Figura 1.5: Respuesta de carga no lineal.

tores para corrección del factor de potencia) y en general la calidad en el suministro de energía eléctrica se ha ido deteriorando por la distorsión presente en los voltajes y corrientes.

Esta situación puede llegar a causar un funcionamiento incorrecto de muchos equipos (especialmente los menos robustos de tipo residencial) que han sido diseñados para operar bajo condiciones normales (poca distorsión armónica). Además, se presenta un incremento en los costos de operación como resultado de algunos factores ligados a la generación de armónicas.

1.2.1 ORIGEN DE LOS ARMÓNICOS.²

Para el caso particular de sistemas eléctricos residenciales los armónicos son producidos por cargas no lineales, conectadas a la red por el usuario del servicio de energía eléctrica. Es por esta razón que a continuación se presenta una explicación de lo que constituye una carga no lineal.

Cargas no lineales.

Una carga no lineal se define como aquella en la que la relación V/I no es constante. Es decir que si alimentamos a una carga no lineal con una onda de voltaje y corriente sinusoidal su respuesta nos dará una onda de voltaje y corriente no sinusoidal, como se observa en la figura 1.5.

Ahora bien esta no linealidad, ocurre por las características propias de los elementos que conforman nuestros electrodomésticos, no podemos modificarlas, por ejemplo,

²<http://www.suomitec.com/Suomitec/armonicos.htm>

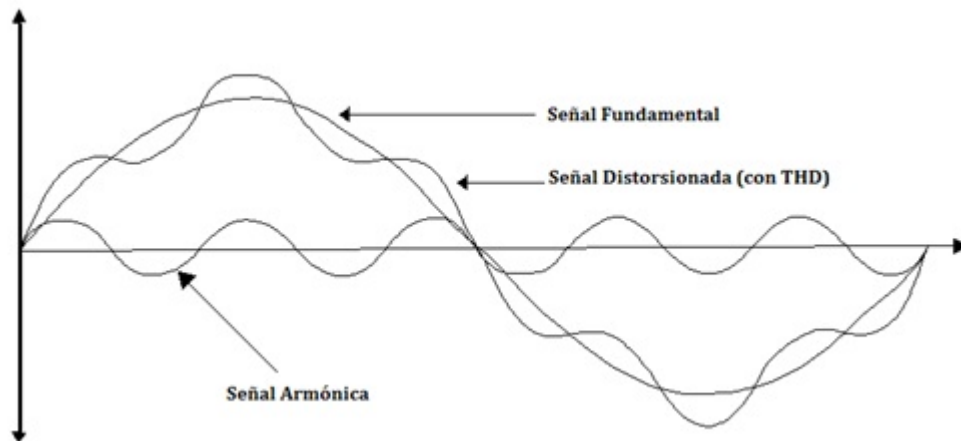


Figura 1.6: Señal con Distorsión armónica y Señal Fundamental.

un transistor, un diodo, etc. todos son ejemplos de cargas no lineales. Estas ondas distorsionadas de corriente, originan a su vez corrientes de armónicas de retorno hacia otras partes del sistema de distribución eléctrica, por ejemplo, por el cable neutro.

Actualmente en una vivienda típica residencial puede encontrarse un número muy importante de cargas no lineales: televisores, computadoras personales, videograbadoras, equipos de audio, hornos a microondas, lámparas fluorescentes compactas, etc., las que introducen un alto espectro de armónicos de corriente a la red de distribución.

Esto puede ser riesgoso para algunos equipos y cargas sensibles (Ej. dispositivos de protección, motores, computadoras, etc.), además de los problemas de calentamiento que se originan en las líneas y transformadores de distribución del cual están alimentadas.

1.2.2 DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL.

La Distorsión Armónica básicamente se define como la deformación de la forma de onda de la energía eléctrica. La magnitud de tal deformación es expresada como un porcentaje que indica el rango de variación de una onda determinada con respecto a la forma de onda fundamental (senoidal), como se muestra en la figura 1.6y figura 1.7. Las siglas THD (Total Harmonic Distortion), se utilizan para expresar la magnitud de la Distorsión Armónica.

Contrario a lo que sucede con los Apagones, la Distorsión Armónica no es percep-



Figura 1.7: Influencia de la distorsión armónica en la señal eléctrica.

tible, y se requieren dispositivos especiales para la medición de su magnitud. Adicionalmente, éste es uno de los problemas eléctricos que se presentan con mayor frecuencia.

Matemáticamente está definida como:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} U_n^2}}{U_1} 100 \quad (1.2)$$

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n=\infty} I_n^2}}{I_1} 100 \quad (1.3)$$

Donde:

U_n = Valor eficaz de voltaje de la componente armónica de orden n .

I_n = Valor eficaz de corriente de la componente armónica de orden n .

U_1 = Valor eficaz de voltaje de la componente fundamental.

I_1 = Valor eficaz de corriente de la componente fundamental.

1.2.3 SERIES DE FOURIER.³

En esta sección se dará una explicación de la base matemática que está detrás de los medidores de armónicos.

Las Series de Fourier son una herramienta matemática que nos permite representar una señal como la suma de sinusoides. Cada término de esta serie tendrá cierta amplitud (magnitud armónica) que contribuirá al contenido armónico total de la señal como se muestra en la figura 1.8.

³<http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2005/CSE05.pdf>

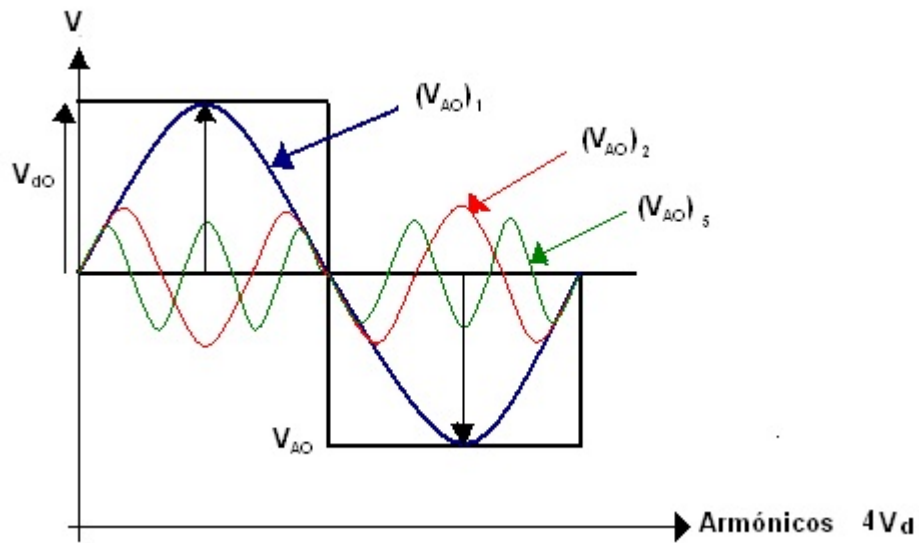


Figura 1.8: Obtención de una señal cuadrada a partir de la suma de señales sinusoidales.

Si $f(t)$ es una función periódica de periodo T y no tiene discontinuidades en el tiempo, según Fourier esta podrá ser representada como:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos(nwt) + B_n \text{sen}(nwt)) \quad (1.4)$$

En donde:

A_0 = Representa el valor medio de la función.

A_n y B_n = Representan los coeficientes de la serie de Fourier.

Es decir:

$$f(t) = (A_0 + A_1 \cos wt + A_2 \cos 2wt + A_3 \cos 3wt \dots + B_1 \text{sen} wt + B_2 \text{sen} 2wt + B_3 \text{sen} 3wt + \dots) \quad (1.5)$$

Siendo:

$$A_n \cos(nwt) + B_n \text{sen}(nwt) = (A_n^2 + B_n^2)^{1/2} \left(\frac{A_n}{(A_n^2 + B_n^2)^{1/2}} \cos(nwt) + \frac{B_n}{(A_n^2 + B_n^2)^{1/2}} \text{sen}(nwt) \right) \quad (1.6)$$

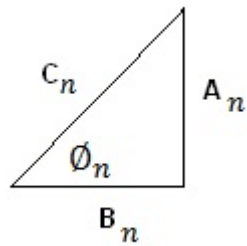


Figura 1.9: Triángulo para poder representar de forma compacta la serie de fourier

Se define un ángulo ϕ_n cuyo lado adyacente es B_n el lado opuesto es A_n y la hipotenusa es $(A_n^2 + B_n^2)^{1/2}$. Como resultado tenemos:

Donde: ϕ_n = el ángulo de desfase entre la señal fundamental y la señal armónica.

C_n = representa la amplitud armónica.

$$A_n \cos(nwt) + B_n \sin(nwt) = (A_n^2 + B_n^2)^{1/2} (\sin \phi \cos(nwt) + \cos \phi \sin(nwt)) \quad (1.7)$$

$$A_n \cos(nwt) + B_n \sin(nwt) = (A_n^2 + B_n^2)^{1/2} \sin(nwt + \phi_n) \quad (1.8)$$

De tal forma que:

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(nwt + \phi_n) \quad (1.9)$$

Siendo:

$$C_n = \sqrt{(A_n^2 + B_n^2)} \quad (1.10)$$

$$\phi_n = \tan^{-1} A/B_n \quad (1.11)$$

El término A_0 se obtiene como:

$$A_0 = \frac{1}{T} \left(\int_0^T f(t) dt \right) \quad (1.12)$$

De igual manera los términos A_n y B_n , se obtienen con las siguientes ecuaciones:

$$A_n = \frac{2}{T} \left(\int_0^T f(t) \cos n\omega t dt \right) \quad (1.13)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \left(\int_0^T f(t) \sin n\omega t dt \right) \quad (1.14)$$

1.3 FACTOR DE POTENCIA.⁴

Como vimos las cargas no lineales producen una distorsión en la corriente, la cual a su vez producirá distorsión en el voltaje. Sin embargo la distorsión en el voltaje de suministro es usualmente pequeña. Para simplificar el análisis se asume que la señal de voltaje es una señal senoidal pura a la frecuencia fundamental expresada así (con $\omega_1 = \omega$ y $f_1 = f$) como:

$$v_s = \sqrt{2}V_s \sin \omega t \quad (1.15)$$

La señal de corriente de entrada en estado permanente es la suma de sus componentes armónicas de la siguiente forma (suponiendo que no hay ninguna componente de CC en i_s):

$$i_s(t) = i_{s1}(t) + \sum_{h \neq 1} i_{sh}(t) \quad (1.16)$$

Donde i_{s1} es la componente fundamental y i_{sh} es la componente en la frecuencia h del armónico, $f_h = hf_1$. Estas componentes de corriente en la ecuación 1.16 se expresa como:

$$i_s(t) = \sqrt{2}I_{s1} \sin(\omega t - \phi_1) + \sum_{h \neq 1} \sqrt{2}I_{sh} \sin(h\omega t - \phi_h) \quad (1.17)$$

Donde ϕ_1 es el ángulo de fase entre la señal de voltaje asumida v_s e i_{s1} (un valor positivo de ϕ_1 significa que la corriente i_{s1} retrasa al voltaje). El valor rms I_s de la corriente de línea puede ser calculado utilizando la definición de valores rms a la forma de onda i_s , como en la siguiente ecuación donde:

⁴Electrónica de Potencia Convertidores, Aplicaciones y Diseño Ned Mohan Capítulo III

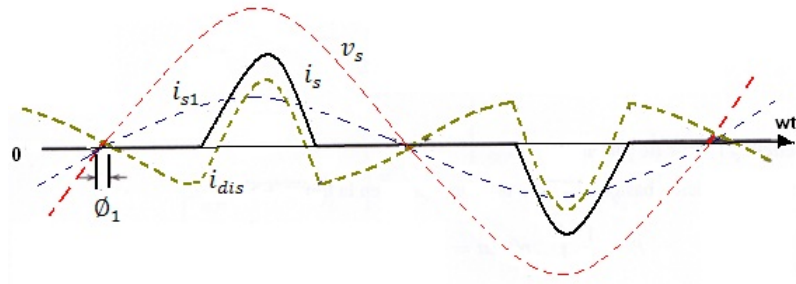


Figura 1.10: Distorsión de Corriente de Línea.

$$T_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{2\pi}{\omega_1}$$

$$I_s = \left(\frac{1}{T_1} \int_0^{T_1} i_s^2(t) dt \right)^{1/2} \quad (1.18)$$

Sustituyendo i_s de la ecuación 1.16 en la ecuación 1.18 y notando que las integrales de todos los términos de los productos cruz (es decir, el producto de dos componentes de frecuencia) son individualmente cero:

$$I_s = (I_{s1}^2 + \sum_{(h \neq 1)} I_{sh}^2)^{1/2} \quad (1.19)$$

La cantidad de distorsión en la onda de corriente o voltaje es cuantificada por el factor de distorsión armónico total (THD), la componente de distorsión de corriente i_{dis} de la corriente de la ecuación 1.16 es:

$$i_{dis}(t) = i_s(t) - i_{s1}(t) = \sum_{h \neq 1} i_{sh}(t) \quad (1.20)$$

En términos de valores rms tenemos:

$$I_{dis} = [I_s^2 - I_{s1}^2]^{1/2} = (\sum_{h \neq 1} I_{sh}^2)^{1/2} \quad (1.21)$$

El THD de la corriente está definido como:

$$\% \quad (1.22)$$

$$= 100 \times \sqrt{\frac{(I_s^2 - I_{s1}^2)}{I_{s1}}} \quad (1.23)$$

$$= 100 \times \sqrt{\sum_{h \neq 1} \left(\frac{I_{sh}}{I_{s1}}\right)^2} \quad (1.24)$$

Donde el subíndice i indica el THD en la corriente. En cambio el THDv, indica las componentes de voltaje en la ecuación 1.24 .

1.3.1 INFLUENCIA DE LA DISTORSIÓN ARMÓNICA EN EL FACTOR DE POTENCIA.

Empezando con la definición básica de potencia promedio:

$$P = \frac{1}{T1} \int_0^{T1} p(t) dt = \frac{1}{T1} \int_0^{T1} v(t) i_s(t) dt \quad (1.25)$$

Y reemplazando v_s de la ecuación 1.15 e i_s de la ecuación 1.17 en la ecuación anterior notamos nuevamente que la integral de los términos de los productos cruz son individualmente cero tenemos:

$$P = \frac{1}{T1} \int_0^{T1} \sqrt{2} V_s \sin w_1 t \cdot \sqrt{2} I_{s1} \sin(w_1 t - \varnothing_1) dt = V_s I_{s1} \cos \varnothing_1 \quad (1.26)$$

Los componentes de corriente en frecuencias armónicas no contribuye a la potencia promedio (real) tomada de la fuente de voltaje senoidal v_s . La potencia aparente S, es el producto del voltaje rms V_s y la corriente rms I_s , así:

$$S = V_s I_s \quad (1.27)$$

De esta forma el factor de potencia estará expresado como:

$$PF = P/S \quad (1.28)$$

Pero usando la ecuación 1.26 y 1.28 tenemos que:

$$PF = \frac{V_s I_{s1} \cos \varnothing_1}{V_s I_s} = \frac{I_{s1}}{I_s} \cos \varnothing_1 \quad (1.29)$$

El factor de potencia de desplazamiento (DPF, el cual es el mismo que el factor de potencia en los circuitos lineales con voltajes y corrientes sinusoidales), está definido como el coseno del ángulo ϕ_1 :

$$DPF = \cos\phi_1 \quad (1.30)$$

De esta forma, el factor de potencia con una corriente no sinusoidal es:

$$PF = \frac{I_{s1}}{I_s} DPF \quad (1.31)$$

Nótese, por la ecuación 1.21, que una gran distorsión en la onda de corriente podría causar una disminución del valor $\frac{I_{s1}}{I_s}$ y del valor del factor de potencia. En términos de las ecuaciones 1.24 y 1.31, el factor de potencia se expresa como:

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_i^2}} DPF \quad (1.32)$$

1.4 MEDIDORES DE ARMÓNICOS.

Para realizar las mediciones se seguirá lo expuesto en la REGULACIÓN No.CONELEC – 004/01 “CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN” que determina que las mediciones se realizaran por 7 días con intervalos de 10 minutos para lo cual se utilizaran los siguientes equipos para el monitoreo de los armónicos, cuya descripción y manejo se presentan a continuación:

1.4.1 FLUKE 1735⁵

El analizador mostrado en la figura 1.11 posee las siguientes características:

El registrador se ha desarrollado en concreto para electricistas de planta e instaladores eléctricos con una función importante en la investigación y solución de problemas en el sistema de distribución eléctrico.

El registrador de potencia 1735 está equipado con la tecnología Flash. Esto permite realizar actualizaciones del firmware.

⁵Manuales de usuario de Fluke 1735

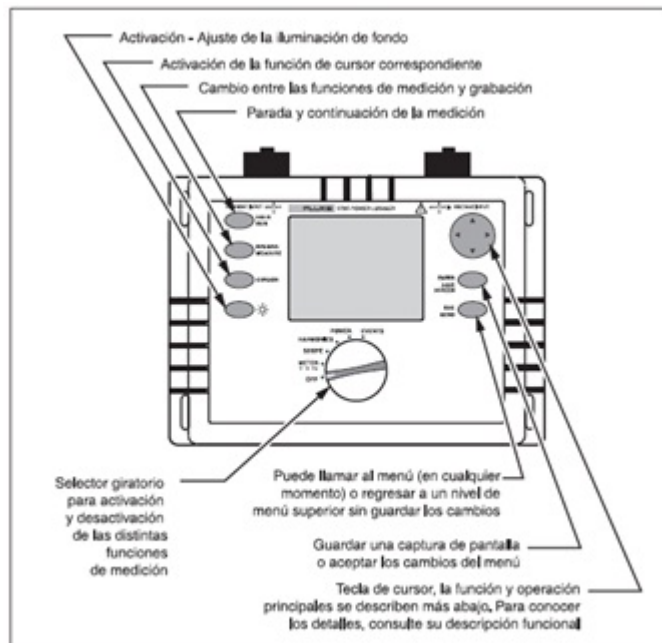


Figura 1.11: Vista frontal Fluke 1735

La interfaz de serie RS232 se usa para establecer comunicación con un PC externo. Use el software Power Log (incluido) para descargar y analizar los datos del registrador.

1.4.2 FLUKE 435⁶

El analizador (vease figura 1.12) ofrece una completa serie de potentes funciones para la comprobación de sistemas de distribución eléctrica. Algunas de estas funciones le permiten obtener una visión general del funcionamiento del sistema eléctrico, mientras que otras le sirven para examinar detalles específicos.

Características como transmisión de señales, registro, precisión de entrada de tensión de 0,1% conforme a la norma IEC61000-4-30 2003 Clase A, memoria adicional para almacenar datos de registro, software de registro de potencia, medición de armónicos e inter-armónico hasta el 50 armónico. También mide los datos relacionados, como los componentes CC, la THD (distorsión armónica total) y el factor K.

Las lecturas pueden mostrarse como porcentaje del fundamental o como porcentaje de todos los armónicos combinados (valor rms). Los resultados se pueden visualizar

⁶Manuales de usuario de Fluke 435



Figura 1.12: Vista frontal Fluke 435

en una pantalla de gráfico de barras, una pantalla de multímetros o una pantalla de tendencias.

1.4.3 AEMC 3945⁷

El analizador AEMC 3945 (vease figura 1.13) posee un display grafico a color, una capacidad de muestreo de 256 muestras por ciclo y captura de transientes que ocurren tan rápidamente como en 62.5us. Su memoria de 4MB del Power Pad permite almacenar 4 tipos diferentes de datos. Puede registrar armónicos hasta el 50 para voltios, amperios y VA. Los armónicos individuales se presentan como un porcentaje y en valor real. En la tabla 1.1 se resumen las características más importantes:

⁷Manuales de usuario de AEMC 3945



Figura 1.13: Vista frontal del equipo AEMC 3945

Tabla 1.1: Características técnicas del equipo AEMC 3945.

MODELO	3945-B
ELÉCTRICAS	
Frecuencia de Muestreo	256 muestras por ciclo
Almacenamiento de datos	4MB partidos para formas de onda, transientes, alarmas y registros
Voltaje (TRMS)	Fase a fase 960V Fase a Neutro 480V
Corriente (TRMS)	Pinza MN: 0 a 6A/120A o 0 a 240A Pinza SR: 0 a 1200A Pinza MR: 0 a 1000Aca, 0 a 1400 Acc MiniFlex: 10 a 1000A AmpFlex: 10 a 6500A
Frecuencia (Hz)	40 a 69 Hz
Otras Mediciones	kW, kVAR, kVA, FP,FPD, kWh, kVARh, kVAh, factor k y flicker
Armónicos	1° al 50° dirección, secuencia
Fuente de Alimentación	Conjunto de baterías NiMH de 9,6 (V) recargables (incluido). Fuente de CA externa: 110/230 VCA $\pm 10\%$ (50/60Hz)
Autonomía de la batería	≥ 8 horas con la pantalla encendida; ≤ 35 horas con la pantalla apagada modo de registro

1.5 FILTROS.⁸

Un filtro eléctrico o filtro electrónico es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.

1.5.1 CARACTERÍSTICAS.

Las características que definen un filtro vienen determinadas por los siguientes conceptos:

Función de Transferencia.

Con independencia de la realización concreta del filtro (analógico, digital o mecánico) la forma de comportarse de un filtro se describe por su función de transferencia. Ésta determina la forma en que la señal aplicada cambia en amplitud y en fase al atravesar el filtro.

Se puede llegar a expresar matemáticamente la función de transferencia en forma de fracción mediante las transformaciones en frecuencia adecuadas. Se dice que los valores que hacen nulo el numerador son los ceros y los que hacen nulo el denominador son polos.

$$H(f) = \frac{\text{numerador}(f)}{\text{denominador}(f)} \quad (1.33)$$

El número de polos y ceros indica el orden del filtro y su valor determina las características del filtro, como su respuesta en frecuencia y su estabilidad.

Orden

Los filtros son agrupados por orden, según el número de elementos reactivos que lo componen. Se denomina filtro de primer orden, si está construido solamente por un solo elemento reactivo: un inductor es un filtro de primer orden. Tendremos un filtro de segundo orden al combinar juntos un inductor y un condensador, un filtro de tercer orden resulta de insertar un nuevo inductor, y así sucesivamente.

⁸http://es.electronica.org/mundo/Filtro_electr%C3%B3nico

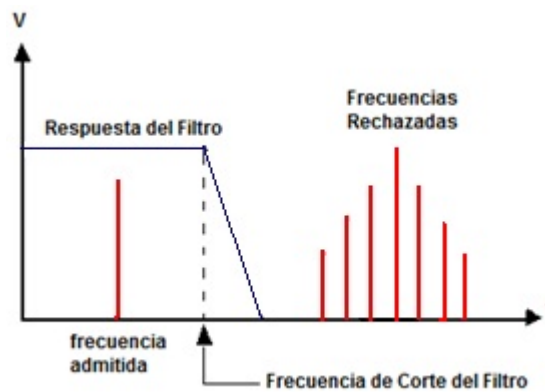


Figura 1.14: Respuesta de un filtro pasa bajos.

Entonces podemos atribuir a un filtro su orden contando los elementos reactivos que lo componen.

Frecuencia de corte

Es la frecuencia, que reduce la salida de un filtro al valor de $-3 \text{ dB} = 70,71\%$ respecto al nivel de entrada.

1.5.2 FILTROS PASA BAJO⁹

El filtro pasa-bajas elimina la frecuencia de armónicos y deja pasar la señal original hasta la salida. El filtro tiene un ancho de banda que deja pasar solo las frecuencias de la señal de entrada. Como se muestra en la figura 1.14.

1.5.3 FILTRO PASA ALTAS.¹⁰

Un filtro pasa altas es uno que atenúa o rechaza significativamente todas las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte y deja pasar todas las frecuencias por encima de ella. Como se muestra en la figura 1.15:

⁹Dispositivos electrónicos Octava Edición FLOYD

¹⁰Dispositivos electrónicos Octava Edición FLOYD

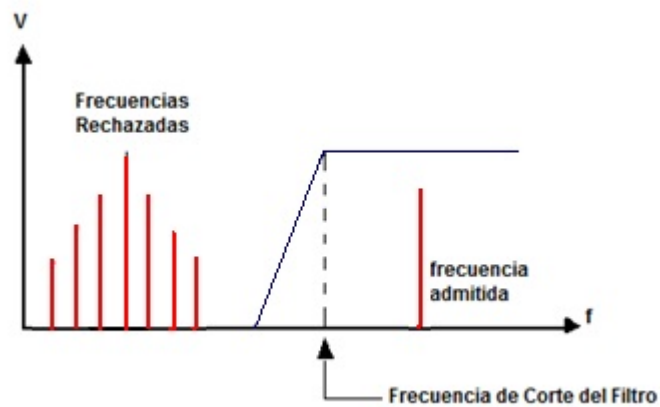


Figura 1.15: Respuesta de un filtro pasa altos.

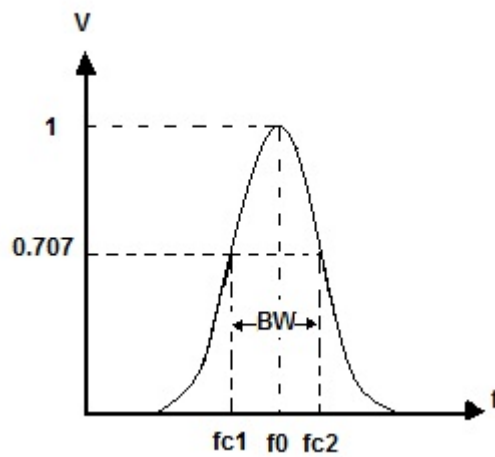


Figura 1.16: Respuesta de un filtro pasa banda.

1.5.4 FILTRO PASA BANDA.¹¹

Un filtro pasa banda deja pasar todas las señales situadas dentro de una banda entre un límite inferior de frecuencia y un límite superior de frecuencia y, en esencia, rechaza todas las frecuencias que quedan fuera de esta banda especificada, observamos así en la figura 1.16

¹¹Dispositivos electrónicos Octava Edición FLOYD

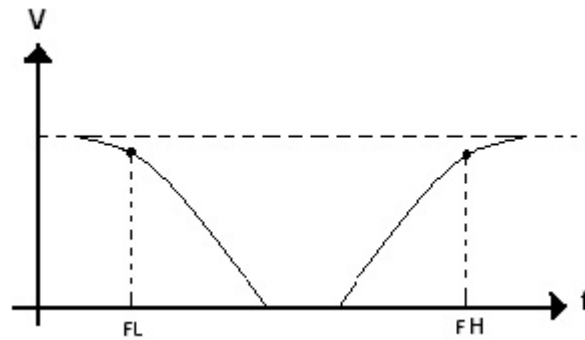


Figura 1.17: Respuesta de un filtro rechaza banda.

1.5.5 FILTRO RECHAZA BANDA.¹²

Estos filtros rechazan aquellas frecuencias que se encuentran en un ancho de banda definido. Es decir permiten el paso de las frecuencias inferiores o superiores a dos frecuencias determinadas como de corte inferior (FL) y de corte superior FH. Como se muestra en la figura 1.17.

¹²Dispositivos electrónicos Octava Edición FLOYD

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ARMÓNICOS.

Según datos de la Empresa Eléctrica de Cotopaxi ELEPCO S.A. Los usuarios tipo A, es decir con un consumo mayor a 350 KWh, en la ciudad de Latacunga son 364 para el año en que se publicó esta tesis, por lo que fue necesario determinar un sector en el cual realizar el estudio como plan piloto debido al número reducido de equipos analizadores con que se contaba. Escogiéndose el sector de Locoá, se encontro siete usuarios del tipo A que se constituyéron el universo de nuestro análisis.

Recalcando, que el error muestral es inversamente proporcional al tamaño de la muestra, es decir, que a un tamaño muestral mayor, el error muestral será menor y que si se realizara un estudio involucrando a todo el universo, entonces el error muestral sería del cero por ciento, nos encontramos con el hecho de que no siempre es posible realizar la recolección de datos atendiendo a la totalidad de las unidades de análisis, ya sea por lo numeroso del universo o la falta de equipos destinados a la investigación como es nuestro caso . Por lo tanto, el tamaño muestral para estimar el parámetro en el muestreo aleatorio simple, será calculado con la ecuación 2.1, fijando el error de muestreo¹.

$$n = \frac{Nz^2 pq}{e^2 N + z^2 pq} \quad (2.1)$$

De acuerdo a los datos obtenidos en una población de $N = 7$ familias, un nivel de confianza del 95% ($z = 1.96$), $p = q = 0.5$ y un error del $e = 20 \%$, el tamaño de la muestra sería de:

¹Alba Fernández, María Virtudes. Muestreo estadístico. España: Septem Ediciones, 2005. p 42

$$n = \frac{Nz^2pq}{e^2N + z^2pq} = (7 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5) / (0.2^2 * 7 + 1.96^2 * 0.5 * 0.5) = 5.42$$

Esto aproximado a su inmediato inferior nos da como resultado una muestra de cinco residencias para nuestro análisis. Según los resultados obtenidos después de la medición en cada una de las residencias siguiendo la normativa No. CONELEC – 004/01, para CALIDAD DEL SERVICIO ELECTRICO DE DISTRIBUCION, se obtuvo los resultados citados en la tabla 2.1.

2.2 ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS DE LOS FILTROS.

Como vimos en el apartado anterior los armónicos de mayor influencia son el tercero y el quinto por lo que se propone solucionar mediante un filtro pasa alto de segundo orden en configuración paralela a la carga; los cuales deberán cumplir con las especificaciones mostradas en la tabla 2.2.

2.3 DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS.

Dado a que un filtro colocado en paralelo con la carga se comporta, evaluando a frecuencia fundamental, como un banco de capacitores, es de gran importancia estudiar su comportamiento cuando se varía la carga, a continuación explicaremos este hecho.

Tabla 2.1: Porcentajes de Armónicos y THD presentes en las residencias.

Residencia 1				
Corriente Máxima de línea	12 A			
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro		5to	
	45,4940011		34,3145288	
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	63,120389			
Residencia 2				
Corriente Máxima de línea	34 A			
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro		5to	
	26,7838		21,9177	
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	44,99064			
Residencia 3				
Corriente Máxima de línea	L1		L2	
	16 A		3 A	
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro	5to	3ro	5to
	30,7680606	20,6749662	56,8752989	35,94328
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	44,2928759		73,091445	
Residencia 4				
Corriente Máxima de línea	L1		L2	
	4,13 A		8,36 A	
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro	5to	3ro	5to
	17,894742	13,124802	13,206151	8,5354167
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	23,9087302		18,0079365	
Residencia 5				
Corriente Máxima de línea	L1		L2	
	16 A		15 A	
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro	5to	3ro	5to
	35,297917	15,173214	34,245337	25,891468
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	44,4746032		46,8098214	

Tabla 2.2: Especificación de requisitos de los filtros.

VOLTAJE	CORRIENTE	FRECUENCIA DE
Soportar 110v de corriente alterna	Sumatoria de corrientes a partir del tercer armónico	Sintonía en 180Hz

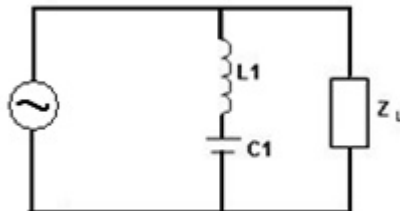


Figura 2.1: Filtro Pasa Banda o Sintonizado Simple.

2.3.1 INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE CARGA EN LA IMPEDANCIA DE UN CONDENSADOR .²

Para explicar el efecto de la variación de la carga en la frecuencia de sintonía nos referiremos en principio al filtro pasa banda que se muestra en la figura 2.1.

La frecuencia de resonancia del circuito esta dada por la ecuación 2.2.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.2)$$

Por lo tanto la frecuencia de resonancia depende del valor de inductancia y de la capacitancia de nuestro circuito, y dado que el valor de inductancia está definido por la ecuación 2.3.

$$L = \frac{NA_{core}B_{core}}{I} \quad (2.3)$$

Notamos pues que la inductancia va a depender en gran medida del valor de corriente que atraviese por la misma, haciendo susceptible a nuestro filtro a las variaciones de carga.

En la figura 2.2 Se observa como una variación de la carga produce un corrimiento de la frecuencia de resonancia del sistema y por lo tanto la zona de alta admitancia del filtro también sufre un corrimiento.

²<http://www.scribd.com/doc/4852702/Fundamentos-de-Armonicas-en-sistemas-electricos>

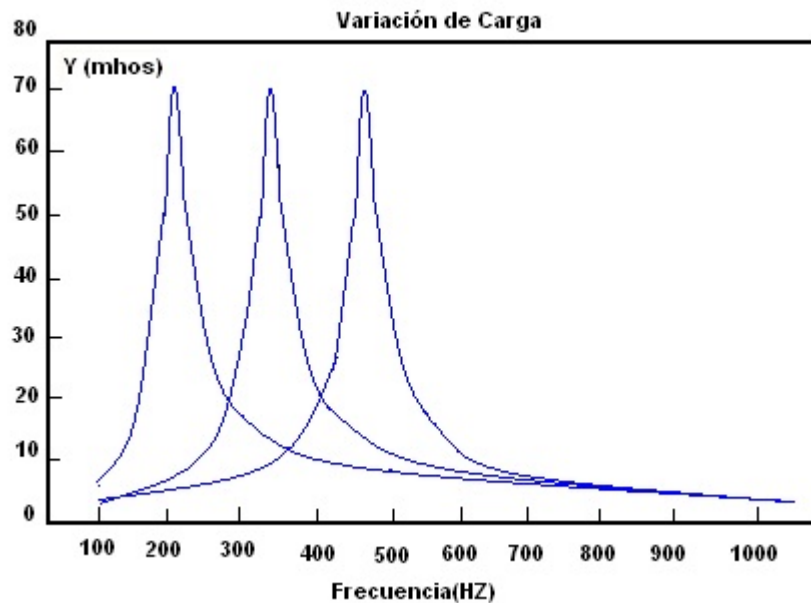


Figura 2.2: Efecto de la variación de carga sobre la impedancia del sistema.

Teniendo esto presente, al diseñar un filtro, se debe tomar en cuenta que carga se va a conectar al mismo, en nuestro caso la carga no es constante por lo que se necesitaría un sistema complejo de detección de cargas y disparo de filtros de sintonía simple para compensar esta variación, lo que encarecería el sistema y aumentaría su tamaño; es por esto que se ha buscado la configuración de filtro menos propensa a la variación de carga, como es el caso del filtro pasa alto de segundo orden, dando así cumplimiento a nuestro objetivo que es alcanzar un filtro económico para los hogares.

2.4 FILTRO PASA ALTO DE SEGUNDO ORDEN SINTONIZADO EN EL TERCER ARMÓNICO.

En este apartado se procede a explicar el diseño de un filtro pasa alto de segundo orden.

$$f_{Hz} = 180\text{H}$$

$$C = 20\mu\text{F}$$

$$L = ?$$

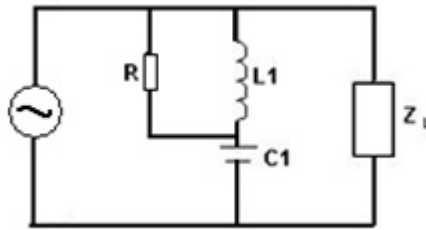


Figura 2.3: Filtro pasa alto de segundo orden.

$$f_H = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.4)$$

$$(\sqrt{LC}) = \left(\frac{1}{2\pi f_H}\right)^2$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_H^2 C}$$

$$L = 39,1mH \simeq 39mH$$

Este filtro nos da un factor de calidad de:

$$Q = \frac{R}{X_0} \quad (2.5)$$

$$Q = 0,5993$$

La impedancia característica del filtro esta representada en la figura 2.4.

Otro fenómeno a tomar en cuenta es que al variar el factor de calidad la impedancia del filtro varía como se muestra en la figura 2.5, de ahí que mediante pruebas experimentales se llego a concretar el valor de resistencia en 70 ohms.

Este filtro de característica amortiguada es el más común. La conexión de una resistencia en paralelo con el inductor le da un comportamiento amortiguado para un amplio rango de frecuencias.

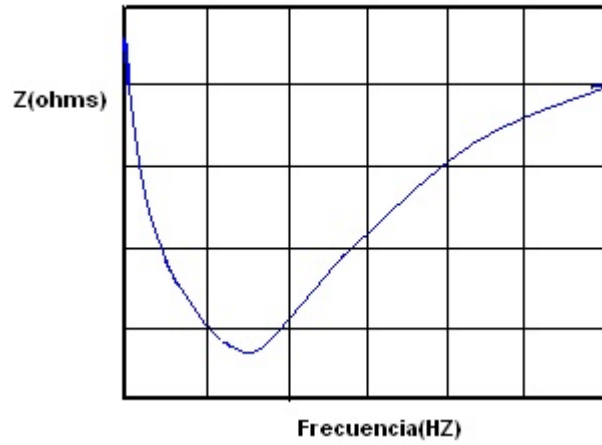


Figura 2.4: Comportamiento en frecuencia de un filtro Pasa Altos de Segundo Orden.

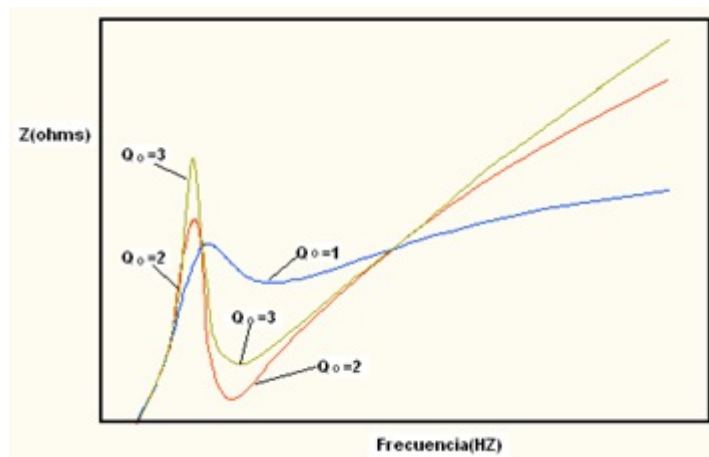


Figura 2.5: Influencia del Factor de calidad en la impedancia característica del filtro.

Tomando todos estos antecedentes en cuenta se construyó bobinas (reactores), con núcleo de hierro para reducir su tamaño y se utilizó condensadores de régimen permanente de fácil adquisición en el mercado; las resistencias utilizadas son de potencia de 20W.

CAPÍTULO 3

PRUEBAS EXPERIMENTALES

3.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.

En este apartado se determinara las características físicas del filtro y su respuesta en frecuencia. El filtro constará de:

- Dos reactores de 39mH.
- Condensadores de 20uF de régimen permanente.
- Resistencia de 70 ohms.
- Contactor de 15A.
- Timer Semanal.
- Botonera.
- Disipadores de Calor.

Todo esto estará dentro de una caja de 30 X 30 X 30cm. Como se muestra en las figura 3.1, figura 3.2 y figura .

El sistema en si está diseñado para cargas bifásicas, pero si se lo desea conectar en cargas monofásicas simplemente se debe cortocircuitar los cables rojo y blanco que pertenecen a las fases del filtro.



Figura 3.1: Parte delantera del filtro Pasa Altos de Segundo Orden.



Figura 3.2: Parte trasera del filtro Pasa Altos de Segundo Orden.



Figura 3.3: Parte Interna del filtro Pasa Altos de Segundo Orden.

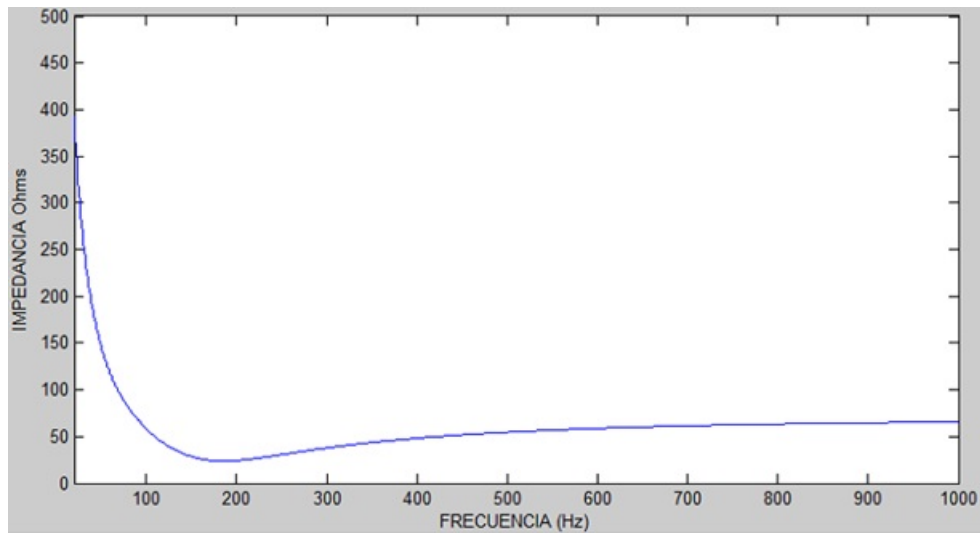


Figura 3.4: Respuesta de frecuencia del filtro.

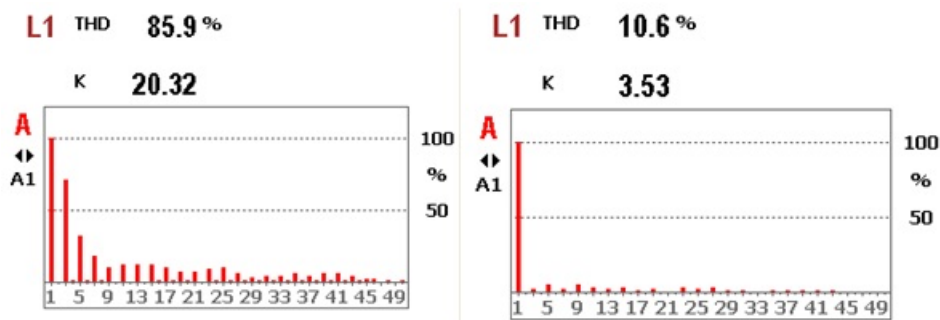


Figura 3.5: Armónicos antes y después de aplicar el filtro a un foco ahorrador.

3.2 PRUEBAS EXPERIMENTALES.

Antes de poner en marcha el filtro se procedió a ser una simulación, teniendo como respuesta de impedancia lo que se muestra en la figura 3.4.

Luego de la implementación se obtuvo los resultados que se muestran en las figuras 3.5 a 3.8 para distintos tipos de cargas.

El filtro lleva el factor THD hasta un 20% como máximo, sin embargo este parámetro puede ser mayor, debido a la variación excesiva de carga como se explico en el capítulo II, además el filtro implementado es una media entre consumo y beneficio.

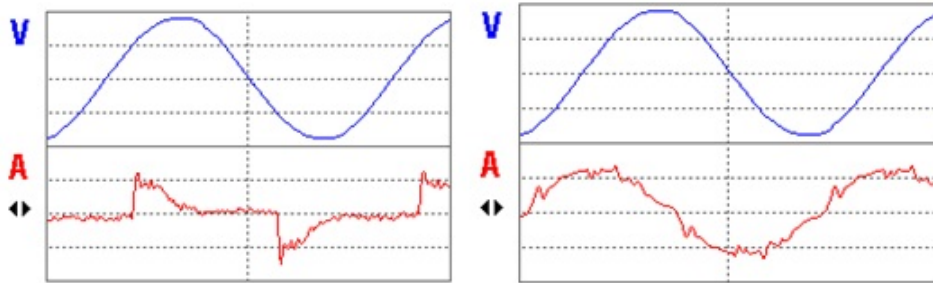


Figura 3.6: Ondas de voltaje y corriente antes y después de aplicar el filtro a un foco ahorrador.

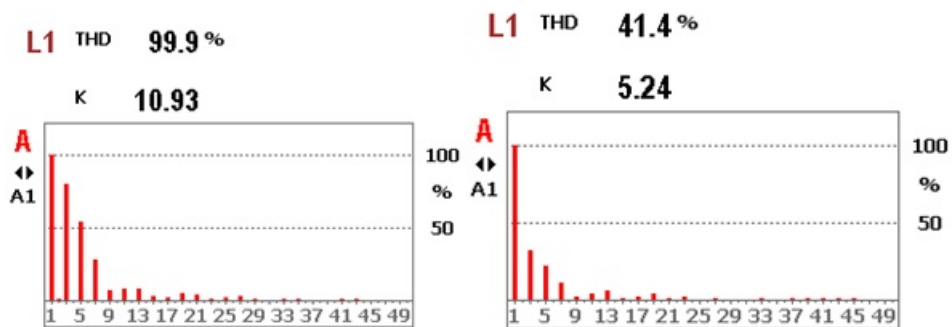


Figura 3.7: Armónicos antes y después de aplicar el filtro a una computadora de escritorio.

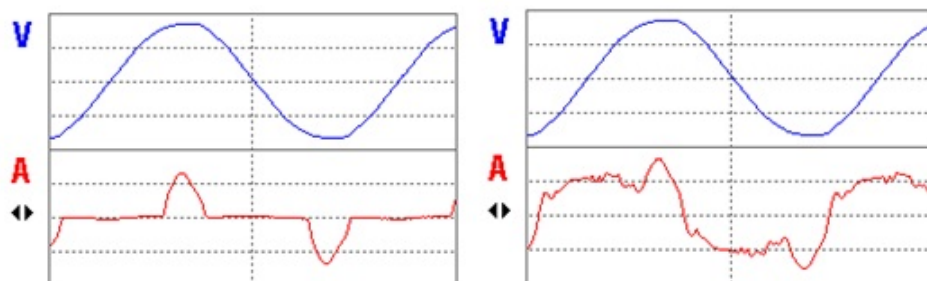


Figura 3.8: Ondas de voltaje y corriente antes y después de aplicar el filtro a una computadora de escritorio.

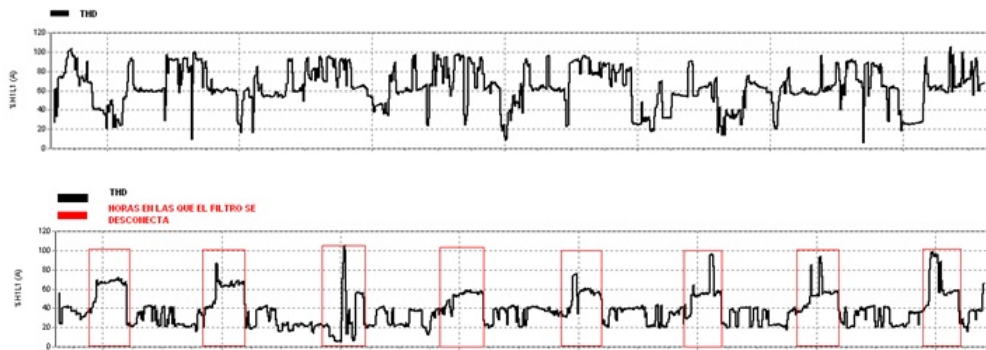


Figura 3.9: Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 1.

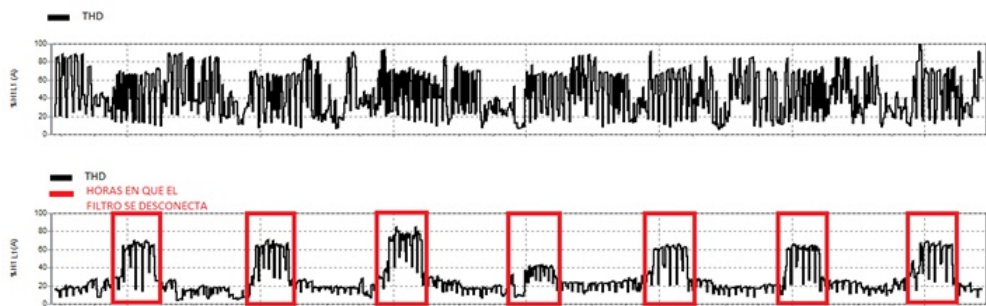


Figura 3.10: Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 2.

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con la implementación del filtro se obtuvo los resultados presentados en la Tabla 3.1 y figuras 3.9 a la 3.12:

Debemos hacer notar que debido a que una residencia se puso a la venta no se pudo obtener los datos luego de la colocación de los filtros.

3.4 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO.

3.4.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

Las características técnicas se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.1: Porcentajes de Armónicos y THD presentes en las residencias, una vez colocado el filtro.

Residencia 1				
Corriente Máxima de línea	12 A			
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro		5to	
	20,44777		14,11019	
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	31,74969492			
Residencia 2				
Corriente Máxima de línea	34 A			
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro		5to	
	12,054636		4,9544845	
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	19,61811333			
Residencia 3				
Corriente Máxima de línea	L1		L2	
	16 A		3 A	
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro	5to	3ro	5to
	9,55007336	5,78307904	13,8352152	9,69805611
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	14,7152027		14,7152027	
Residencia 5				
Corriente Máxima de línea	L1		L2	
	16 A		15 A	
Armónicos de mayor influencia en porcentaje	3ro	5to	3ro	5to
	14,466683	10,893131	18,498105	6,9181092
Promedio del THD en porcentaje de las mediciones	23,05480195		22,43108344	

Tabla 3.2: Características técnicas.

CARACTERISTICA	VALOR
Voltaje de Trabajo	110-220V
Corriente de Consumo sin carga	4A
Frecuencia de Sintonía	180Hz
Potencia Reactiva entregada a la carga	1061,37VAR
Temperatura Máxima de Trabajo	60 C

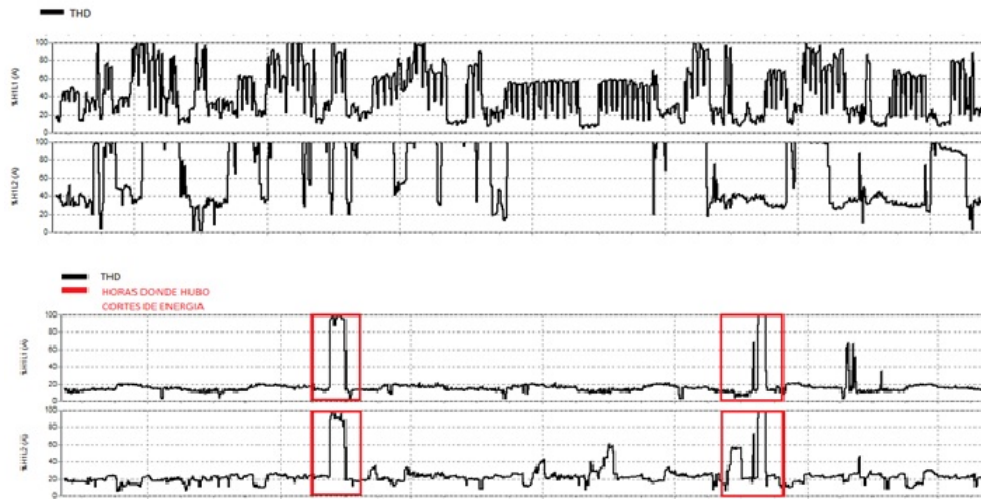


Figura 3.11: Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 3.

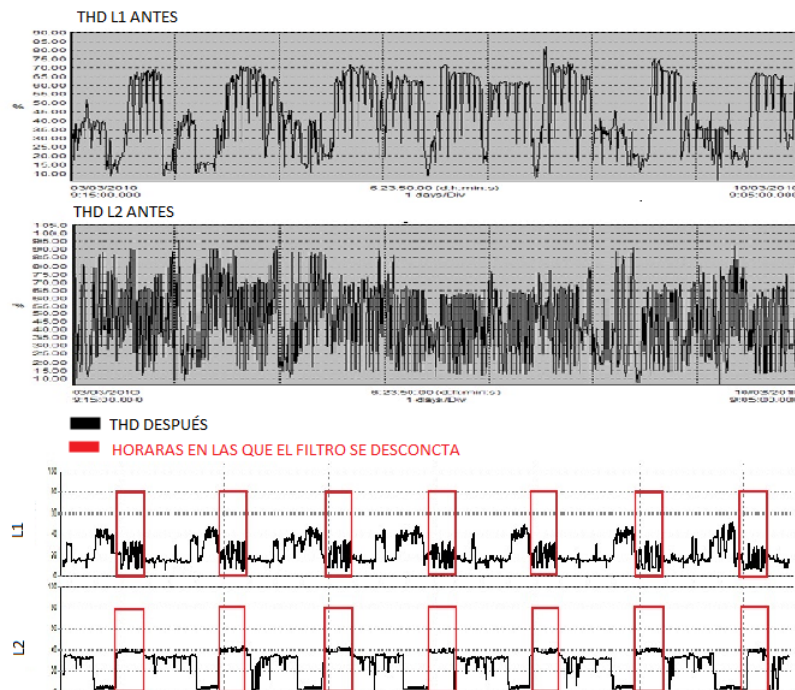


Figura 3.12: Valor de THD antes y después de la colocación del filtro en la residencia 4.

3.4.2 ANÁLISIS ECONÓMICO.

Debido a que se trata de un prototipo el costo de cada filtro bifásico es de 256 dólares, sin contar con las horas de diseño del mismo.

3.5 ALCANCES Y LIMITACIONES.

Con el filtro diseñado se logro dejar el THD en un 20% como máximo y manejar cargas con picos hasta de 20A. Recalcando que dependiendo del tipo de carga (capacitiva o inductiva), este parámetro puede ser mayor, obviamente al disminuir el THD los armónicos de mayor influencia también fueron atenuados.

Como limitaciones podemos indicar que el consumo del filtro es aún considerable, siendo este el mayor impedimento para la implementación en hogares de bajos recursos, ya que repercutirá en la planilla de consumo mensual, y al no existir al momento una normativa o regulación en nuestro país para multar niveles altos de THD el beneficio del filtro se ve opacado.

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTOS DEL PROYECTO

4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo del proyecto “Análisis Residencial de armónicos de usuarios tipo A (plan piloto) en la ciudad de Latacunga y Diseño e Implementación de Filtros Atenuadores”, se obtuvo las siguientes conclusiones y recomendaciones que se ponen a consideración.

4.1.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó un filtro de armónicos sintonizado en el tercer armónico para usuarios tipo A como plan piloto para la reducción del THD.
- Mediante el uso de la normativa No. CONELEC – 004/01, para Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución y el uso de analizadores de calidad de energía se logró conceptualizar el porcentaje de THD presente en las residencias del tipo A en la ciudad de Latacunga, para lo cual fue necesario la determinación de una muestra estadística.
- Observado las características de los distintos tipos de filtros existentes se escogió el diseño de un filtro de segundo orden debido a su robustez frente a variaciones de cargas, como es el caso de los hogares.
- Luego del análisis de mediciones posteriores a la colocación de los filtros, obtuvimos la reducción del THD al 20% como máximo, dependiendo este valor del tipo de carga conectada en el hogar.

4.1.2 RECOMENDACIONES

- Tener mucho cuidado al manipular los condensadores, pues los mismos se encuentran cargados y es posible sufrir choques eléctricos, a pesar de que el equipo este apagado durante un largo tiempo.
- Si se deseará un nivel de THD menor al expuesto en este proyecto se recomienda utilizar filtros híbridos los cuales no se utilizaron debido al costo que en un hogar no reflejaría mayor beneficio además que nuestro objetivo fue encontrar la solución mas económica y duradera.
- No se recomienda el uso de filtros sintonizados simples ya que son muy propensos a la variación de carga, a menos que se utilice algún dispositivo de detección de cargas y disparo de condensadores.
- Tomar en cuenta la temperatura de trabajo especialmente de los condensadores ya que esta afecta al valor de capacitancia de los mismos y por ende al valor de sintonía del filtro.
- No olvidar cambiar las pilas del timer cada mes para su normal funcionamiento.
- En la construcción de reactores asegurarse que las chapas del núcleo estén bien sujetas para evitar la introducción de mas armónicos al sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Mohan N.: “Power Electronics: converters, applications and design”. Editorial: Jhon Wiley & Sons.Inc, United States, 1995.
- [2] Normativa No. CONELEC – 004/01, para Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución.
- [3] Manuales de usuario de Fluke 1735, 435, y AEMC 3945.
- [4] Floyd T.: “Dispositivos electrónicos” . Editorial: Limusa, Mexico,1997.
- [5] Alba M.: “Muestreo estadístico”. Editorial: Septem Ediciones,España, 2005.
- [6] Arrillaga J., Eguíluz L.: “Armónicos en sistemas de Potencia”. Editorial: Servicios de Publicaciones de la Universidad de Catabria, España, 1994.
- [7] Enríquez G.: “El Abc de la calidad de la energia electrica/ The ABC of Quality of the Electrical Energy”. Editorial: Limusa S.A., Mexico, 2004.
- [8] Garcia A., Alabem X.: “Instalaciones Eléctricas”. Editorial: Marcombo S.A., España, 2005.
- [9] Parra E.: “Análisis de armónicos en sistemas de distribución ”. Editorial: Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004.

Latacunga, Octubre 2010

Elaborado por:

Lorena Janeth Velasco Molina

Gabriel Esteban Asqui Santillán

EL DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN

Ing. Armando Álvarez S.

EL SECRETARIO ACADÉMICO DE LA ESPE -LATACUNGA

Ab. Eduardo Vásquez A.