

**Universidad Nacional de Caaguazú**

**Facultad de Ciencias Tecnológicas**

**Carrera de Ingeniería Eléctrica**

**Generalidades sobre los armónicos y su  
influencia en los sistemas de distribución de  
energía**

**Autora:** Elisa Rojas Girett.

**Materia:** Metodología de la Investigación I

**Curso:** 2do.año-3er.semestre.

**Profesor:** Ing. Ismael Duré.

Coronel Oviedo, junio, 2011

## Índice

Resumen .....	4-5
Introducción .....	6
Preguntas de Investigación.....	7
Objetivos Generales .....	8
Objetivos específicos .....	9
Hipótesis .....	10
Justificación .....	11
<b>Marco Teórico</b>	
Generalidades .....	12
Origen de los Armónicos .....	13-14
Fuentes de frecuencia armónicas.....	14
Fuentes de frecuencia no armónicas.....	15
Principales Disturbancias causadas	
Por armónicos De corriente y voltaje.....	15-16
Efectos en los transformadores .....	16-17
En un equipo de distribución .....	17-18
Frecuencias de los armónicos .....	18
Armónica Cero.....	19
Índice de distorsión armónica .....	19-20

Estudio de los armónicos .....	20
Flujo de potencia .....	20-21
Método para utilizar los armónicos .....	21-23
Recomendaciones para disminuir el Efecto de los armónicos .....	24-30
Conclusión .....	31
Bibliografía .....	32
Anexo .....	33

## Resumen

Las armónicas son corrientes y/o voltajes presentes en un sistema eléctrico, con una frecuencia múltiplo de la frecuencia fundamental. 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, transformadores y motores, corrientes excesivas en el neutro, fenómenos de resonancia entre los elementos del circuito (si se cuentan con bancos de capacitores 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) 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. Estos problemas han sido ampliamente analizados en libros y artículos, se han desarrollado equipos de medición

sofisticados que permiten realizar estudios acerca de éstos y además se cuenta con prácticas recomendadas para tener cierto grado de control sobre los mismos.

## Introducción

En las siguientes páginas iremos tratando principalmente sobre que son las armónicas y sobre cómo afectan a las redes eléctricas, además de dejar una idea clara y precisa acerca de la naturaleza de los armónicos de corriente y voltaje, los factores que la originan, sus efectos nocivos en las redes eléctricas y sobre el normal funcionamiento de los equipos terminales que se alimentan de ella, así como los límites de perturbación permitidos.

Uno de los problemas más comunes que afectan a la Calidad de Energía en los Sistemas Eléctricos de baja tensión es la deformación de la onda, producida en gran medida por un fenómeno denominado “Distorsión Armónica” , problema que afecta tanto a las redes eléctricas de distribución como a los consumidores finales.

Las armónicas son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar. Las formas de ondas distorsionadas pueden ser descompuestas en una suma de la señal de frecuencia fundamental y las armónicas. La distorsión armónica se origina debido a las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia. En general, cualquier tipo de carga no lineal conectada al sistema eléctrico causará distorsión armónica.

### **Preguntas de Investigación**

- ¿Qué son las armónicas?
- ¿Cómo se generan las armónicas?
- ¿Cómo son las frecuencias en las armónicas sobre la fundamental?
- ¿Existen dispositivos que pueden filtrar las armónicas?

**Objetivos generales:**

- Conocer la influencia de las armónicas en los sistemas de distribución de energía eléctrica.

### **Objetivos específicos:**

- Conocer la definición de las armónicas.
- Identificar como se generan las armónicas.
- Diferenciar la frecuencia en la armónica sobre la fundamental.
- Valorar aquellos dispositivos que pueden filtrar las armónicas.

## **Hipótesis**

- Las armónicas no producen grandes perjuicios a los conductores y aparatos eléctricos.

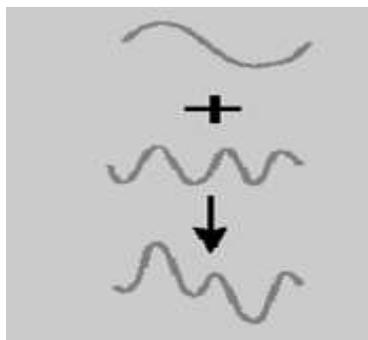
## Justificación

Como alumna de la Carrera de Ingeniería Eléctrica he escuchado un término que me llamó mucho la atención, puesto que hoy en día la energía eléctrica llega a muchos lugares de nuestro país, y por ende al igual que muchos beneficios siempre hay algún defecto que los acompaña, en este caso nos estamos refiriendo a las influencias que ejercen las armónicas en las redes eléctricas. Por este motivo he tomado la decisión de llevar a cabo una investigación acerca de este tema, aunque debo reconocer que quizás al igual que muchos no poseo un conocimiento claro y conciso sobre este tema por lo cual mi investigación se basara en una investigación exploratoria que podrá aclarar todas nuestras dudas acerca del tema a ser tratado.

Por el motivo ya mencionado también puedo decir que el mundo de las redes eléctricas es algo que uno no podría contar todo en 20 o 60 páginas, puesto que ésta área es muy extensa y estudiarlas todo a la vez sería un trabajo interminable, ya que día a día va surgiendo nuevos inventos, nuevas maneras de mejorar las que ya existían anteriormente, por lo tanto en este trabajo trataremos de conocer todo lo esencial sobre Las Armónicas para que de esta manera podamos ir aumentando nuestros conocimientos en el área de la electricidad.

## “Generalidades sobre los armónicos y su influencia en los sistemas de distribución de energía”

En un sistema de potencia eléctrica, los aparatos y equipos que se conectan a él, tanto por la propia empresa como por los clientes, están diseñados para operar a 50 ó 60 ciclos, con una tensión y corriente sinusoidal. Por diferentes razones, se puede presentar un flujo eléctrico a otras frecuencias de 50 ó 60 ciclos sobre algunas partes del sistema de potencia o dentro de la instalación de un usuario. La forma de onda existente esta compuesta por un número de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, incluyendo una referida a la frecuencia fundamental. En la figura siguiente se observa la descomposición de una onda distorsionada en una onda sinusoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) más una onda de frecuencia distinta. El término componente armónico o simplemente armónico, se refiere a cualquiera de las componentes sinusoidales mencionadas previamente, la cual es múltiplo de la fundamental. La amplitud de los armónicos es generalmente expresada en porciento de la fundamental.



Descomposición de una onda distorsionada

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

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

### **Origen de los Armónicos:**

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante (está en función de la tensión). Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal adsorben una intensidad no sinusoidal, pudiendo estar la corriente desfasada un ángulo  $\phi$  respecto a la tensión. Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red. Las cargas armónicas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como: variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc. Otro tipo de cargas tales como: reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc., también inyectan armónicos. El resto de las cargas tienen un comportamiento lineal y no generan armónicos inductancias, resistencias y condensadores. Existen dos categorías generadoras de armónicos. La primera es simplemente las cargas no lineales en las que la corriente que fluye por ellas no es proporcional a la

tensión. El segundo tipo de elementos que pueden generar armónicos son aquellos que tienen una impedancia dependiente de la frecuencia. Para entender esto más fácilmente mencionaremos algunos conceptos previos. En la figura 2 se ha representado la variación de la impedancia de una inductancia respecto a la frecuencia. La fórmula que determina dicha función es la siguiente:

$$X_L = L \times \omega \times 2 \times \pi \times f$$

La fórmula que determina dicha función es:

$$X_C = \frac{-1}{(2 \pi \times f) \times C}$$

Las máquinas rotativas producen armónicos de ranura de rango elevado y de amplitud normalmente despreciable. Las pequeñas máquinas sincrónicas son sin embargo, generadoras de tensiones armónicas de 3er orden que pueden tener una incidencia sobre:

- El calentamiento permanente (aun sin defecto) de las resistencias de puesta a tierra del neutro de los alternadores.
- El funcionamiento de los relés amperimétricos de protección contra los defectos de aislamiento.

#### Fuentes de frecuencia armónicas

Convertidores de AC-DC	Elementos magnéticos saturables
Hornos de arco AC-DC	Capacitores en paralelo
Balastos de lámparas fluorescentes	Variadores de velocidad de motores
Motores de inducción sobrecargados	Oscilaciones de baja frecuencia
Convertidores multifase	Problemas de neutro
	Capacitores serie
	Corriente de Inrush
	Transformadores estrella-estrella

Fuentes de frecuencia no armónicas.

Controladores de velocidad	Convertidores de frecuencia
Motores de inducción de doble alimentación.	Motor generador mal puesto a tierra.

La tabla muestra algunos elementos eléctricos generadores de armónicos y el espectro de corriente inyectado por los mismos.

### **Principales Disturbancias causadas por armónicos de Corriente y Voltaje:**

Los armónicos de corriente y voltajes sobrepuestos a la onda fundamental tienen efectos combinados sobre los equipos y dispositivos conectados a las redes de distribución.

Para detectar los posibles problemas de armónicos que pueden existir en las redes e instalaciones es necesario utilizar equipos de medida de verdadero valor eficaz, ya que los equipos de valor promedio sólo proporcionan medidas correctas en el caso de que las ondas sean perfectamente sinusoidales. En el caso en que la onda sea distorsionada, las medidas pueden estar hasta un 40 % por debajo del verdadero valor eficaz.

El efecto principal causado por los armónicos consiste en la aparición de voltajes no sinusoidales en diferentes puntos del sistema. Ellos son producidos por la circulación de corrientes distorsionadas a través de las líneas. La circulación de estas corrientes provoca caídas de voltaje deformadas que hacen que a los nodos del sistema no lleguen voltajes puramente sinusoidales. Mientras mayores sean las corrientes armónicas circulantes a través de los alimentadores de un sistema eléctrico de potencia, más distorsionadas serán los voltajes en los nodos del circuito y más agudos los problemas que pueden presentarse por esta causa.

Los voltajes no sinusoidales son causantes de numerosos efectos que perjudican los equipos conectados al sistema. Entre estos efectos se pueden mencionar la

reducción de la vida útil del equipamiento de potencia así como la degradación de su eficiencia y funcionamiento en general.

Los efectos perjudiciales de estos armónicos dependen del tipo de carga encontrada, e incluye:

- Efectos instantáneos.
- Efectos a largo plazo debido al calentamiento.

### **Efectos en los transformadores.**

Aunque los transformadores son dimensionados para la operación con cargas de 60 Hz, cuando estos alimentan cargas no lineales evidencian un incremento notable en sus pérdidas; tanto en las de núcleo como las de cobre.

Corrientes armónicas de frecuencias más altas provocan pérdidas de núcleo incrementadas en proporción al cuadrado de la corriente de carga *rms* y en proporción al cuadrado de frecuencia debido al efecto pelicular. El incremento en las pérdidas de cobre se debe a la circulación de corrientes armónicas de secuencia positiva y negativa transportadas en los conductores de fase provenientes de cargas generadoras de armónicos monofásicas y trifásicas, y a la circulación de las corrientes armónicas triples de secuencia cero que son transportadas en los conductores neutros desde las cargas monolineales generadoras de armónicos.

Los armónicos triples de secuencia cero se suman algebraicamente en el neutro y pasan a través del sistema de distribución hasta que alcanzan un transformador conectado en delta-estrella. Cuando las corrientes de neutro de armónicos triples alcanzan un transformador delta-estrella la misma es

reflejada dentro del devanado primario en delta donde circula y causa sobrecalentamiento y fallas en el transformador.

### **Síntomas de distorsión armónica en equipo de distribución.**

Los componentes de los sistemas de distribución de potencia conducen corrientes y por consiguiente, son sensibles a la distorsión de corriente. Esta distorsión nos lleva a evaluar nuevamente muchos de los conceptos normales que se refieren a electricidad, especialmente con respecto al sistema de potencia.

Primero y principalmente, la distorsión de corriente y voltaje deben medirse con un equipo RMS real. Si no se especifica como RMS real, probablemente es un medidor de tipo promedio que provee datos seriamente imprecisos.

Segundo, debemos cambiar nuestro concepto de carga de transformador. Cuando un transformador conduce corriente distorsionada, genera más calor por Ampere que si la corriente fuera sinusoidal. Esto significa que los transformadores se sobrecalentarán aún si no están totalmente cargados eléctricamente. Debe considerarse en la disminución de la potencia del transformador y el uso de transformadores tipo K.

Tercero, la sabiduría común dice que si un sistema de tres fases tipo estrella está balanceado, no habrá corrientes en el neutro. Cuando existen armónicas de corriente, algunas de las armónicas no se cancelan en el neutro, originando lecturas de alta corriente aún cuando el sistema está balanceado. Pueden ser posibles corrientes tan altas como del 200 % de los conductores de fase. Las corrientes armónicas pueden causar que los desconectivos (drop outs) y fusibles operen incorrectamente. Aún pensando que las corrientes no exceden sus límites, los drop outs se dispararán.

Frecuentemente esto es debido al nivel de corriente que es medida con un medidor tipo promedio. El medidor puede indicar 15 A, mientras que realmente existen más de 27 A. El desconectivo portafusible (drop out) está funcionando correctamente, el medidor no.

También hay ocasiones en que las altas corrientes de cargas electrónicas dispararán los desconectivos. Si los desconectivos se disparan determinan si hay una carga no lineal encendida al mismo tiempo.

### **FRECUENCIAS DE LOS ARMONICOS.**

Las frecuencias de los armónicos que más problemas generan en el flujo de potencia, son aquellas que son múltiplos enteros de la fundamental como son: 120, 180, 240, 300 y 360 ciclos/segundos y las que siguen. Obsérvese que la frecuencia del sistema es la primer armónica.

En contraste las frecuencias no armónicas, por ejemplo 217 ciclos/segundo, generalmente son generadas e inyectadas al sistema de transmisión y distribución con algún objetivo especial. Estos casos son producidos deliberadamente o en algunos casos inadvertidamente.

Es más difícil detectar una armónica que no es múltiplo de la frecuencia fundamental, porque no altera la longitud de onda de la misma manera, esto significa que no se ve un cambio estable en el osciloscopio cuando se estudia la onda, sin embargo, una vez que se detecta es mucho más fácil identificar su origen.

### **ARMONICA CERO.**

El flujo de corriente directa es la armónica de frecuencia cero, la contaminación con corriente directa de un sistema o potencia es parte de un estudio teórico completo de todas las armónicas, ya sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia. Generalmente la presencia de tensión o corriente directa es una señal de una pobre puesta a tierra, severo desbalance de carga o daño de algún equipo. Aún con la presencia de una pequeña señal, existe el problema de puesta a tierra, flujo en el conductor neutro o desbalance interno.

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

### **INDICES DE DISTORSION ARMONICA.**

El método más usado para medir la distorsión armónica en un sistema de potencia es la distorsión total armónica (THD), este puede ser calculado por la corriente o para la tensión, dependiendo de donde se quiera medir la distorsión. Hay al menos otros dos índices usados en el análisis armónico, generalmente aplicables a circunstancias especiales. Esto incluye el factor de influencia telefónica, que compara el contenido armónico en relación al sistema telefónico, el otro índice es el factor K que es útil para estimar el impacto de las armónicas en las pérdidas eléctricas. Sin embargo, en la mayoría de los casos donde las armónicas son estudiadas en un sistema de potencia para identificar su fuente o diseñar como deshacerse de ellas, el

índice de distorsión más apropiada es el THD, medido por separado para la tensión y para la corriente.

La adquisición de datos de una forma periódica (cada 30 min) durante un intervalo de tiempo amplio y el análisis posterior de estos registros, de forma diaria y semanal, para cada orden de armónico y para THD, puede utilizarse como metodología para este tipo de estudios. En algunos circuitos, una semana de medición puede tomarse como representativa, siempre y cuando la curva de carga sea aproximadamente constante durante el mes. Debido a la influencia que pueden presentar los transformadores de medida en cuanto a saturación, es necesario establecer la frecuencia límite de estudio. En se hace referencia a que los transformadores de corriente son confiables en mediciones en el rango de 60 a 1500 Hz, es decir, los primeros 25 armónicos. La amplitud de la respuesta de frecuencia es constante dentro de este rango, y el ángulo de fase entre la onda de entrada y de salida es despreciable.

### **ESTUDIO DE LOS ARMONICOS EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.**

Análisis de armónicos en el dominio de la frecuencia es en algunos casos útil, ambas cosas, analizar el contenido y la respuesta de diferentes equipos cuando circulan los armónicos, y también para evaluar la posibilidad de aplicar equipos diferentes en el diseño de filtros para disminuir la propagación de armónicos.

### **FLUJO DE POTENCIA ARMÓNICO.**

El flujo de potencia armónico de sus fuentes de generación a través del sistema de potencia hacia las cargas, obedece exactamente las mismas leyes que para la frecuencia de 50 y 60 ciclos. Los armónicos atraviesan los

transformadores, motores de todo tipo y la mayoría de otros equipos con una pequeña atenuación. La excepción son los equipos construidos específicamente para bloquear o adsorber la distorsión armónica, como ciertos tipos de combinación de transformadores conectados en delta-estrella, que fuerzan a ciertas armónicas a cancelarse ellas mismas por diferencias de fase.

Adicionalmente los alimentadores con capacitores serie o paralelo, situaciones con severo desbalance, líneas largas con significativa capacitancia serie pueden amplificar las armónicas. La capacitancia causa resonancia a ciertas frecuencias, teniendo como resultado que estas líneas puedan llevar corrientes armónicas de varias veces la magnitud que les fue inyectada.

### **METODOS PARA ANALIZAR LOS ARMONICOS.**

Existe una gran variedad de métodos analíticos usados para estudiar los armónicos y evaluar las soluciones de su problemática. Todos los métodos de análisis de armónicos emplean aproximaciones, linealizaciones de uno u otro tipo, presentando ventajas y desventajas los diferentes métodos, ninguno de ellos es el mejor en todas las situaciones. Ocasionalmente, dos o más métodos nos darán ligeras diferencias en los resultados cuando se usan para estudiar el mismo problema, en muy raras ocasiones pueden tenerse recomendaciones contradictorias de cómo reducir los armónicos. En general, estos métodos pueden agruparse en cuatro principales categorías.

**METODO DE FRECUENCIA.** El estudio del comportamiento de los armónicos de un circuito, un aparato eléctrico o de una parte del sistema ante una serie de pasos de frecuencias discretas, en cada paso se usa un

modelo apropiado dependiente de la frecuencia para la parte que se analiza. En este análisis se pueden escoger los armónicos de frecuencia 60, 120, 180, 240, 300 etc., ciclos/seg. Este método es el más apropiado para análisis de condiciones posibles de resonancia y para análisis de diseño de filtros.

El análisis con diferentes frecuencias puede ser hecho junto con los estudios de flujo de carga, con análisis para la frecuencia de 60, 120, 180 y 240 ciclos, usando los valores de impedancias para las frecuencias mencionadas anteriormente y representando como generadores de armónicos a sus fuentes. Esta aproximación tiene la ventaja de que los programas de flujo de carga normales pueden ser usados para los flujos armónicos, identificando de esta manera los flujos de armónicos a través del sistema.

Desafortunadamente el método de las frecuencias, con frecuencia falla en el diagnóstico de los problemas de las armónicos, por diferentes razones, entre ellas tenemos: El flujo armónico y el flujo de frecuencia fundamental son aditivos, esta superposición puede causar saturación y otros problemas con cargas no lineales. El método de la frecuencia parece ser el mejor para identificar los armónicos que pueden causar problemas en circuitos y diferentes sistemas y donde pueden existir problemas de resonancia.

Análisis linealizados.- Usualmente se aplican las técnicas de inyección de corriente, se utilizan para estudiar fuentes armónicas compuestas de varias ondas cuadradas, los equipos y circuitos deben ser representados como conjuntos de elementos lineales conectados en serie y en paralelo, o al menos lineales con cada rango de frecuencia. Las ventajas de este método son su relativa simplicidad, su buena representación de porque y como las armónicas son creadas y como se propagan. Modelos de este tipo son

frecuentemente construidos, después de que la naturaleza general de los armónicos en un sitio en particular son conocidas, como un modelo para estudio del comportamiento y propagación de los armónicos de una manera más detallada.

Análisis no lineal en el dominio del tiempo. Directamente se aplica a cargas no lineales simulando modelos en el dominio del tiempo. En programas tales como el EMTP o como mejor se conoce actualmente ATP, así como lo que se ha llamado simulación armónica en el tiempo con modelos para el flujo de potencia, los cuales calculan el aspecto de flujos de potencia usando modelos de cargas no lineales y modelos en líneas de equipos eléctricos representando sus impedancia a través del aspecto de frecuencias.

El ATP es la mejor herramienta para hacer análisis de problemas severos, su aproximación es muy buena y presenta una buena habilidad para realizar interacciones complejas de energía y equipo. Es el método preferido para evaluar los transitorios originados por armónicos como los causados por las corrientes de inrush originados por los transformadores.

Método Wavelet.- Utiliza técnicas analíticas basadas en la teoría wavelet como análisis en el dominio de la frecuencia. Esta teoría utiliza análisis tanto en el dominio de la frecuencia como en el tiempo.

Se recomienda aplicar dos o los 3 métodos discutidos anteriormente para evaluar los problemas de armónicos, tal vez los resultados serán diferentes, pero esto identifica los límites del conocimiento acerca del problema que se analiza y que se tiene un rango amplio de posibles soluciones que deben ser exploradas.

## **RECOMENDACIONES PARA DISMINUIR EL EFECTO DE LOS ARMONICOS.**

Usualmente la solución al problema de armónicos es eliminar los síntomas y no el origen, los aparatos que crean los armónicos generalmente constituyen una pequeña parte de la carga, eliminar su uso no es posible, modificar esos equipos para que no causen armónicos tampoco es factible. Lo que nos queda es reducir los síntomas ya sea incrementando la tolerancia del equipo y del sistema a los armónicos o modificar los circuitos y los sistemas para reducir su impacto, atrapar, o bloquear los armónicos con filtros. Por supuesto hay excepciones. En casos de sobrecarga, daño de equipo o diseño inapropiado, estas causas que generan armónicos pueden ser corregidas, similarmente un aparato o equipo particular que produce un alto nivel de armónicos debe ser modificado o reemplazado.

Un aspecto que con frecuencia es mal evaluado, es que los armónicos han sido un problema reciente debido al efecto de adición y multiplicación de los mismos, la presencia de estos efectos es lo que causa problemas, individualmente ninguno es problemático por sí mismo. Por ejemplo, la distorsión armónica causada por un motor de inducción, que se usa para hacer circular aire para uso agrícola, puede haber sido tolerado por muchos años, pero inesperadamente causa problemas de flicker porque el conductor neutro se abrió. Es común en el caso de severos problemas de armónicas, que se ligen dos o más factores que contribuyan a agravar el problema, particularmente cuando se adiciona equipo nuevo o que existen cambios de equipo, siendo la sospecha del problema los nuevos equipos. Cuando se presentan causas simultáneas que generan altos niveles de armónicas, usualmente sólo una es la mayor causa del problema, contribuyendo las otras causas a crear resonancia o a ayudar en su propagación.

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

Desde el punto de vista de sobretensiones transitorias y armónicas, disminuyendo la impedancia a tierra e incrementando la ampacidad del neutro con frecuencia se resuelven problemas de calidad de la potencia (incluyendo armónicas). Los problemas de puesta a tierra contribuyen de un 33 a un 40% de los problemas relacionados con la calidad de energía [9].

En [9] se hace referencias a algunos aspectos importantes relacionados con la utilización de los filtros. Los filtros se utilizan para bloquear o atrapar la energía de los armónicos de tal manera que no fluya por los equipos o que no entre al sistema, son las dos soluciones más usadas para el problema de las armónicas.

Los filtros son elementos cuya impedancia varía con la frecuencia. También tienen el potencial de crear y amplificar el problema de las armónicas, a menos que cuidadosamente sean localizados y diseñados, en algunos casos un diagnóstico y diseño pobres, origina que el remedio sea peor que la enfermedad.

Los filtros pasivos son los más simples, más económicos, pero menos flexibles y efectivos para filtrar armónicas. Son elementos puramente pasivos, usados por las empresas como circuitos en paralelo en la entrada de los servicios con problemas de generación de armónicas, evitando de

esta manera que entren al sistema de distribución. También los filtros pueden instalarse directamente en un equipo particular donde existe un grave problema de generación de armónicas, evitando de esta manera que circulen en la propia instalación eléctrica del usuario.

El comportamiento de los filtros pasivos es ser sensitivos a la impedancia del sistema para los cuales ellos fueron ajustados. La impedancia del sistema puede cambiar a lo largo del tiempo, como el equipo altera su comportamiento de volts/var, siendo difícil estimar su exactitud si no se tienen mediciones. Los filtros pasivos con frecuencia no proporcionan un comportamiento satisfactorio, bajo ciertas circunstancias pueden causar problemas de resonancia sobre el sistema donde están conectados.

Filtros activos.- Son elementos de potencia, los cuales trabajan usando un convertidor de potencia conectado en paralelo para producir corrientes armónicas iguales a las que se encuentran en la corriente de carga, asegurando que su trayectoria sea la de sacar las corrientes armónicas fuera de la trayectoria del sistema de distribución (figura 8). La reducción de las armónicas depende sólo de la medición armónica correcta que se está generando en la carga y no es función de la impedancia del sistema. Estos filtros han tenido una mayor aplicación, teniendo la desventaja de ser más caros y de que consumen potencia en cantidades significativas, creando además niveles altos de interferencia electromagnética.

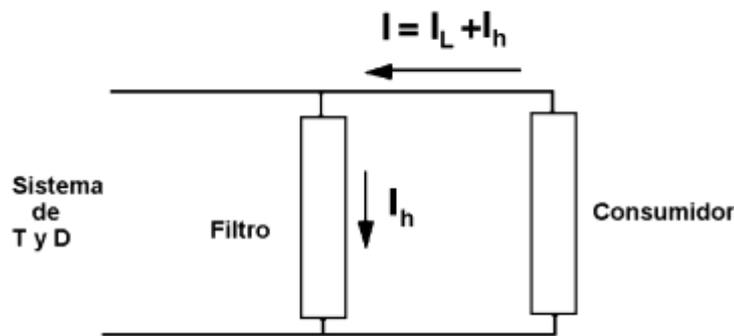


Figura 8 [9] - Los filtros son usualmente aplicados como un camino en paralelo con el usuario o con el equipo que crea armónicas, como se indica en la figura. Ambos filtros el activo y el pasivo desvían las corrientes armónicas  $I_h$  por una trayectoria para desviarles del sistema, con esto se deja que solo la corriente de carga fluya al sistema: los filtros pasivos proporcionan una impedancia muy baja en la trayectoria en paralelo, los filtros activos originan que la corriente armónica fluya con una corriente que ellos mismos generan, esencialmente forzándola por su trayectoria.

Los filtros híbridos que usan filtros activos y pasivos son colocados en serie y en paralelo en la carga de los usuarios, se combina en este caso un comportamiento mejor con un menor costo y menor consumo de potencia.

El Código Nacional Eléctrico Americano (NEC) de 1993 y "Underwriting's Laboratory" (UL), demandan que sean especificados transformadores de factor k para la alimentación de cargas no lineales.

En se hace referencia a la utilización de transformadores tipo k para la alimentación de cargas no lineales.

Los transformadores de factor k son probados, etiquetados y listados por UL para la operación en ambiente no sinusoidal. Especificados e instalados para

servir cargas no lineales de acuerdo a los requerimientos de listado y etiquetado, los transformadores de factor  $k$  satisfacen los requerimientos de seguridad del NEC. Los transformadores  $k$  son diseñados para operar con menores pérdidas a las frecuencias armónicas. Las modificaciones de diseño de factor  $k$  incluyen el alargamiento del devanado primario para soportar la inherente circulación de corrientes de armónicos triples; el duplicado del conductor neutro secundario para llevar corrientes de armónicos triples; el diseño del núcleo magnético con una menor densidad normal de flujo mediante el empleo de grados de aceros más altos; y el empleo de conductores secundarios aislados más pequeños, enrollados en paralelo y transpuestos para reducir el calentamiento del efecto pelicular de la resistencia ac asociada.

Especificar los transformadores de factor  $k$  requiere de un método para calcular el valor nominal  $k$  de la corriente de carga, lo mismo desde un análisis armónico de carga real, o desde estimaciones del contenido de corrientes de armónicos. La ecuación de cálculo del factor  $k$  recomendada en es:

$$k = \sum_{h=1}^{\infty} (Ih(pu))^2 \cdot h$$

Donde  $Ih(pu)$  es la corriente armónica esperada en por unidad, y  $h$  es el número del armónico.

Debido a la característica inherente de que las corrientes armónicas de secuencia positiva y negativa balanceadas se cancelan en cualquier punto común de conexión, estos cálculos necesitan solamente considerar las corrientes armónicas triples de secuencia cero con la magnitud de la

corriente fundamental como el peor caso de factor de calentamiento no sinusoidal dentro del transformador. Cualquier magnitud de secuencia positiva y negativa resultante de los devanados de fase será recortada por la impedancia del transformador, y viajará a través del transformador sobre los conductores de fase hacia la fuente. Esta estimación aproximada del factor  $k$  basada en el entendimiento de la relación entre las componentes simétricas y las corrientes armónicas resultan en un valor nominal  $k$  del transformador más realístico.

La determinación de un valor  $k$  realístico es importante porque la especificación de un factor  $k$  más grande que el que es necesario introduce problemas de armónicos similares a la práctica del sobredimensionamiento de transformadores. Similarmente a los transformadores sobredimensionados, transformadores de factor  $k$  mayores que lo necesario para la carga tienen menores impedancias, incrementando esto la corriente de neutro a tierra e incrementando la caída de voltaje de neutro a tierra en la carga. Además, una menor impedancia del transformador resulta en una mayor permisibilidad de paso de corriente de falla a medida que una mayor corriente de la fuente de cortocircuito está en capacidad de viajar a través del transformador hacia el equipamiento de utilización. Para proteger el equipamiento corriente abajo, deben ser realizador cálculos de cortocircuito para las corrientes de falla disponibles de transformadores de valor nominal  $k$ , y los valores nominales de interrupción de las protecciones deben ser dimensionados acordemente.

Otras consideraciones de los transformadores de factor  $k$  incluyen la especificación de la clase de aislamiento de 220 °C con la restricción de rampas de temperatura de 80 °C a 115 °C. La menor rampa de temperatura provee de numerosos beneficios incluyendo capacidad adicional para

emergencia o sobrecargas de corrientes armónicas, consumo de energía reducido con menores costos de operación y una expectativa de vida del transformador mayor, independientemente de la carga.

La tabla 5 que se muestra posteriormente representa el Factor K, el cual se aplica para re-clasificar transformadores con cargas no-lineales.

En se recomienda utilizar inductancias antiarmónicas para proteger baterías de condensadores contra las sobrecargas armónicas. Además, entre los filtros que se recomienda en esta bibliografía se encuentran:

- El shunt resonante.
- Los filtros amortiguadores.
- Los filtros activos (se utilizan frecuentemente como complemento de los pasivos, formando así un filtro híbrido).

## **Conclusión**

Al concluir este arduo y laborioso trabajo puedo llegar a afirmar: que mi hipótesis inicial estaba incorrecta puesto que al iniciar esta investigación llegue a afirmar que las armónicas no producen ningún efecto negativo, y esto es incorrecto puesto que las armónicas no presentan ningún efecto positivo, en general los armónicos producen calor a medida que circulan por los conductores y aparatos eléctricos. Además de esto he presentado en este trabajo los efectos más importantes de las armónicas en las componentes principales de los sistemas eléctricos. En algunas ocasiones estos efectos son extremadamente complicados de evaluar, aunado al hecho de que el equipo de medición necesario para cuantificarlos es muy costoso. Sin embargo el conocimiento de los aspectos generales de sus causas y consecuencias nos ayudan a prevenir y tomar las medidas tendientes a minimizar sus efectos en aras de una operación efectiva y segura de los sistemas eléctricos actuales.

**Espero que haya sido de su agrado....**

### **Bibliografías**

- NoriegaStefanova,Ernesto,2011,<http://www.monografias.com/trabajos21/armonicos/armonicos.shtml>,extraido el 24/06/11
- IngTejadaPeralta,Alexis,<http://www.mty.itesm.mx/etie/deptos/ie/profesores/allamas/cursos/ueee/armonicas/07Efectarm.PDF>
- Carvajal,Fulvia,abril2009<http://aupec.univalle.edu.co/informes/2009/mayo/armonicos.html>
- UniversidadPolitécnicaSalesiana,<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/145/3/CAPITULO%20II.pdf>

## Anexo



Se construyó una fuente que simulaba la generación de armónicos.



Algunos transformadores utilizan filtros especiales para controlar las distorsiones eléctricas.