

Análisis de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto e Influencia de Armónicos de Corriente dentro del Área de Concesión de CNEL-Milagro

O. Castañeda †

W. Castañeda ‡

† *Corporación Centro Nacional de Control de Energía - CENACE*

‡ *Eléctrica de Guayaquil*

Resumen-- El incremento en la productividad con logros en la industria debido a la automatización, en especial la electrónica de potencia ha producido una generación de equipos de alta capacidad, rendimiento y bajo costo siendo cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, siendo perturbada por la presencia de estas cargas la energía entregada por las empresas distribuidoras, lo que conlleva a su vez que provean un servicio confiable, ininterrumpido y libre de perturbaciones.

El análisis de calidad de energía acerca de la calidad del producto se realizará de acuerdo a la Regulación No. CONELEC¹ 004/001, y la influencia de los armónicos de corriente mediante la norma internacional IEEE²-Standard-519-1992.

El estudio de los resultados obtenidos de los diversos parámetros dentro de las mediciones realizadas por la Dirección de Planificación de CNEL³-Milagro y una simulación del efecto de los armónicos de corriente, nos permitirá emitir conclusiones factibles para mantener en todo momento el funcionamiento continuo, seguro y adecuado de los equipos eléctricos y procesos asociados, sin afectar el medio ambiente y el bienestar de las personas.

Palabras Claves-- Calidad, Distorsiones, Armónicos de Corriente, Flickers.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo de Calidad de Energía acerca de la Calidad del Producto, es un medio para que en la parte técnica, el abonado espere obtener del proveedor (empresa distribuidora) un suministro con tensiones equilibradas, senoidales y de amplitudes y frecuencias constantes.

Se enfocara los aspectos de calidad de energía que se vean reducidos por distorsiones de la forma de

onda (armónicos) y fluctuaciones de tensión (flicker) con conclusiones de posibles soluciones empleadas en la actualidad en base de recopilación de datos.

El desarrollo de dicho estudio en todo momento se vera enfocado por la Regulación No. CONELEC 004/01; y en base de las diversas mediciones tomadas en los puntos que dicha regulación lo estipula y se plantearán las conclusiones necesarias para mantener un buen servicio que evite el deterioro de las señales de tensión y corriente.

Realizar el levantamiento de la información necesaria mediante el analizador de energía Topas 1000, para adquirir los datos en base de los parámetros que se encuentran dentro de la Regulación.

Brindar un estudio de la Calidad del Producto para la CNEL-Milagro de acuerdo a normativas referentes a calidad de energía que se encuentran en vigencia o que son aplicadas en nuestro país.

2. EL ESTADO DEL ARTE

Desde los inicios de la electrificación y durante muchos años las cargas de los usuarios eran lineales por naturaleza; de manera que cuando una tensión sinusoidal se aplicaba a las mismas, estas originaban una corriente senoidal, ello ocurría típicamente en aplicaciones tales como iluminación, calefacción y en motores.

Esta reacción con la cual se aprendió a convivir se la generalizó empleándose el criterio para todos los ámbitos de la electricidad como protección, generación, distribución, instalación e incluso de la planificación.

Otra característica que es importante tener en mención es que en general, las cargas lineales, no eran muy sensibles a las variaciones momentáneas en la tensión de alimentación, tales como sobretensiones y subtensiones.

Dentro de lo esperado la demanda de energía aumentó los consumidores y sus cargas se multiplicaron. En estos tiempos se conoce que el consumo de energía eléctrica es

¹ CONELEC: Consejo Nacional de Electricidad

² IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

³ CNEL: Corporación Nacional de Electricidad

un buen índice económico y de producción de una nación.

Nuevos equipos, nuevas tecnologías que ahora hacen catalogar a la mayoría de las cargas como no lineales, puesto que cuentan con componentes más eficientes que sin pensarlo cambiaron la respuesta anteriormente esperada de una forma sinusoidal en la corriente a otras, con nuevas características.

2.1. Importancia de la Calidad de la Energía Eléctrica

El término Calidad de Energía Eléctrica, nombrado -CEE por sus siglas en español, es utilizado para describir una combinación de características a través de las cuales el producto y el servicio del suministro eléctrico corresponden a las expectativas del cliente.

Esto se traduce para él, en la práctica, como contar con un servicio de buena calidad, costos viables de un funcionamiento adecuado, seguro y confiable de equipos y procesos sin afectar el ambiente o el bienestar de las personas.

La pérdida de la calidad de energía significa: “deterioro de las señales de tensión y corriente” en lo que respecta a la forma de onda, frecuencia e interrupciones que llevan a la reducción o interrupción de procesos que ocasionan perjuicios.

En los últimos años se ha profundizado el problema con la calidad del Producto (calidad de energía). Por este motivo Instituciones especializadas en el tema, como: *Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE*, *Internacional Electrotechnical Commission -IEC*, *Comite Européen de Normalisation Electrotechnique -CENELEC*, *The National Electrical Manufacturers Association - NEMA*, etc. han desarrollado normativas, estándares y métodos de medición y construcción de equipos de medición de calidad de energía, perfeccionándolos con el transcurrir del tiempo.

Para la calidad de servicio eléctrico el ente regulador por lo general es estatal y el ente regulado es la empresa de distribución, la misma que puede ser pública o privada. Dado que la empresa de distribución es la llamada a cuidar por la calidad del servicio, las regulaciones o recomendaciones establecen que esta debe monitorear y corregir los problemas en la calidad de energía para el bien de sus usuarios.

Ecuador tiene pocos años de haber iniciado el proceso de regular a las empresas eléctricas de distribución. Esta tardanza le ha dado el beneficio de haber recogido la experiencia de países vecinos,

para regular sus empresas de distribución con mayor criterio.

3. MARCO TEÓRICO ACERCA DE CALIDAD DE ENERGÍA

Los problemas se presentan al existir disturbios de la calidad de energía eléctrica en el suministro. La mayoría de las veces resultan en una detención temporal de los procesos industriales, a esta interrupción están asociados altos costos, una vez que es la causa de pérdidas significativas de producción y descarte de materiales debido a la necesidad de limpiar las máquinas, reiniciar el proceso en la secuencia que se encontraba, y recalibrar las líneas de producción de acuerdo a las especificaciones de proceso requeridas o por concluir con productos defectuosos.

3.1. Cargas Lineales.

Esto ocurre cuando en la carga posee elementos como resistencias, inductancias y condensadores de valores fijos. Con estas características en el sistema se tiene un voltaje y corriente senoidal, y por lo general existe un desfase entre ellos.

La iluminación incandescente y las cargas de calefacción son lineales en naturaleza. Esto es, la impedancia de la carga es esencialmente constante independientemente del voltaje aplicado. Como se ve en la Fig. 1, en los circuitos de corriente alterna -AC la corriente se incrementa proporcionalmente al incremento del voltaje.

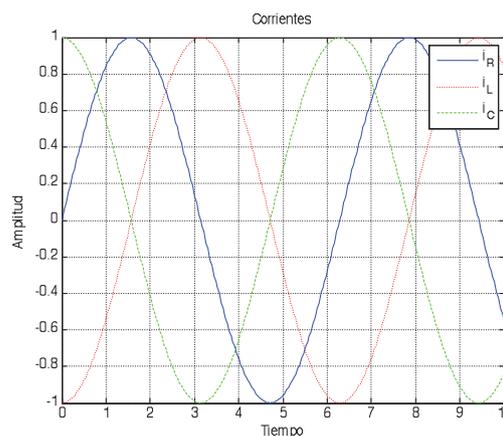


Figura 1: Ondas de corriente de una carga lineal

Corrientes lineales: **IR** es una corriente pura de circuito resistivo; **IL** es una corriente de circuito parcialmente inductiva (atrasada); e **IC** es una corriente de circuito parcialmente capacitiva (adelantada).

Una resistencia pura, una inductancia y una capacitancia son todas lineales. Lo cual significa que

si una onda senoidal de voltaje de una cierta magnitud es puesta en un circuito que contiene una resistencia pura. Por ejemplo, la corriente en el circuito obedece a la ley de Ohm $I=V/R$, para un valor específico de ohmios, la relación entre los voltios y los amperios es una línea recta.

Con una carga lineal, la relación entre el voltaje y la corriente es lineal y proporcional; éste tipo de cargas no representan un problema de distorsión de la forma de onda por el hecho de comportarse de manera lineal.

En la Fig. 2 para el gráfico de corriente la línea diagonal cuando posee un valor de pendiente “m” representa una resistencia fija del mismo valor

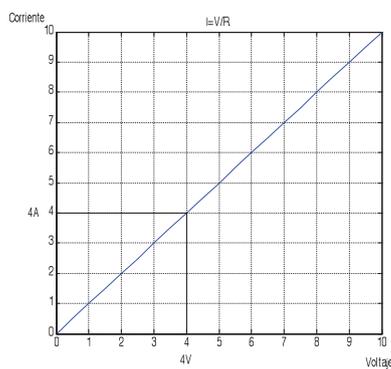


Figura 2: Curva del comportamiento de una carga lineal

3.2. Cargas No Lineales.

Las cargas no lineales demandan una corriente no senoidal, cuyo paso por la impedancia del sistema provoca una caída de voltaje no senoidal, lo cual se traduce en una distorsión de voltaje en los terminales de la carga. Entre las cargas no lineales más comunes tenemos los convertidores estáticos, dispositivos magnéticos saturados y hornos de arco. La Fig. 3 presenta un circuito de carga no lineal.

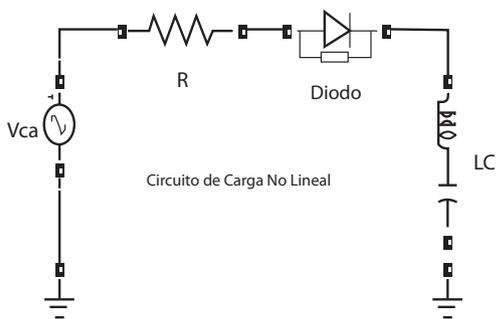


Figura 3: Circuito de carga no lineal

El uso de las cargas no lineales se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Los convertidores estáticos son las cargas no lineales mas

utilizadas en la industria donde se las usa para una gran variedad de aplicaciones, tales como fuentes de poder para procesos electroquímicos, variadores de velocidad y fuentes ininterrumpibles de poder (UPS).

Una alta distorsión de corriente provoca calentamiento excesivo en conductores y transformadores así como interferencia en equipos de comunicación mientras que la distorsión del voltaje provoca una operación incorrecta de equipos sensibles (computadoras, microcontroladores).

Con una carga no lineal no se tiene una relación directa entre el voltaje y la corriente, como se aprecia en la Fig. 4.

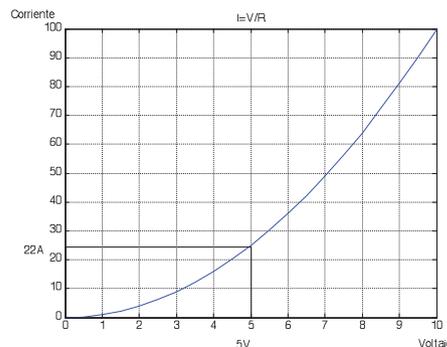


Figura 4: Curva del comportamiento de una carga no lineal

Los principales efectos de las cargas no lineales en los sistemas eléctricos son:

- Distorsión de voltaje en el sistema eléctrico.
- Interrupción de procesos productivos.
- Excesivas corrientes de retorno en el neutro.
- Altos niveles de voltaje de neutro a tierra.
- Sobrecalentamientos en los transformadores y elevados campos electromagnéticos.
- Disminución en la capacidad de los equipos de distribución.
- Penalizaciones tarifarias debido al bajo factor de potencia.

4. REGULACIÓN EN EL ECUADOR

El CONELEC es el organismo encargado de regular todo lo que concierne al uso de energía eléctrica en el país, tal como su generación, transmisión, distribución; para este caso calidad de energía a través de la Regulación CONELEC No -004/01.

Dentro de la Regulación de la Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución comprende los siguientes puntos de análisis:

- Calidad del Producto
- Calidad del Servicio Técnico
- Calidad del Servicio Comercial

Dentro del siguiente estudio se hará énfasis a la calidad del producto, dentro del cual percibe los siguientes puntos:

- Nivel de voltaje
- Perturbaciones de voltaje
- Factor de Potencia

En este estudio se adquirieron cada uno de los parámetros mencionados para un estudio de Calidad del Producto y adicionalmente la influencia de los armónicos de corriente para cada una de las mediciones obtenidas dentro del sistema de Distribución.

4.1. Análisis de la Regulación CONELEC No.- 004/01

La regulación de calidad de producto de Ecuador tiene sus ventajas porque ha recopilado experiencias de otros países.

La regulación ecuatoriana está estructurada por etapas, niveles de tolerancia para los niveles y rangos de voltajes. Se contemplan además rangos diferentes para zonas rurales y urbanas.

Lo que es una consideración razonable para los sistemas de distribución que tienen muchas zonas rurales en su haber y sería muy difícil y hasta innecesario cumplir regulaciones tan estrictas en la parte técnica, en los diferentes niveles de voltaje. Para este punto se establecen que las mediciones sean tomadas en la mayoría de puntos significativos de los sistemas de distribución, tales como; alimentadoras, consumidores de alto, medio y bajo voltaje.

Muestra rangos de voltaje de variación de $\pm 8\%$ con respecto al nominal en consumidores de medio y bajo voltaje de zonas urbanas y $\pm 10\%$ de zonas rurales. Estos límites, sin embargo, son muy estrictos si consideramos que los consumidores de bajo voltaje rurales podrían tener variaciones entre $\pm 15\%$ sin que sus equipos eléctricos sufran daños y la zona urbana podría tolerar sin problemas una fluctuación de $\pm 10\%$ del voltaje nominal ya que la gran mayoría de equipos vienen diseñados para soportar estas variaciones.

Los índices de flickers y armónicos son considerados de la misma manera que lo estipula la norma EN⁴50160, al igual que todas las regulaciones de países sudamericanos. Otro punto muy importante que no es aceptable en la regulación es que no se toma en cuenta para el monitoreo de estos índices a los consumidores de alto y mediano voltaje. A este tipo de consumidores son los que más les afecta dichos fenómenos y a su vez los que más lo producen dicha pérdida de calidad.

El factor de potencia también está regulado por el CONELEC como índice de calidad. Este punto no está contemplado en la mayoría de regulaciones como la norma EN50160, pero es un buen índice, que serviría para observar la eficiencia del sistema de distribución. Una observación importante que hay que hacer en este parámetro es que no especifica el método de calcular el “factor de potencia”.

El hecho de que existan armónicos en la red implica que la lectura de los medidores digitales convencionales no sea la correcta, ya que estos usan el método tradicional para calcularlo y no consideran el efecto de las ondas distorsionadas.

La medición del factor de potencia mejorado lo ofrecen ciertos equipos de calidad de energía. La regulación ecuatoriana no contempla parámetros importantes como desbalances de la fuente de voltaje, y la precisión del equipo de medición (transformadores de corriente, potencial y el medidor).

4.2. El Sistema Eléctrico Milagro

De acuerdo a datos obtenidos al mes de Agosto del 2009, CNEL-Milagro sirve a 111179 clientes, y dentro de su área de concesión se tiene que la ciudad de Milagro representa la mayor parte de consumo de energía, pues concentra una mayor cantidad de abonados.

En la Tabla 1 se muestra la distribución de los clientes presentes para el mes de Agosto del 2009 dentro del área de concesión de CNEL-Milagro, con sus consumos.

Tabla 1: Distribución Clientes CNEL-Milagro

Zona	Cliente	
	Usuarios	%
Milagro	51142	46,0
La Troncal	12897	11,6
El Triunfo	10117	9,1
Naranjal	11563	10,4
Naranjito	10340	9,3
Bucay	3891	3,5
Yaguachi	4558	4,1
Simón Bolívar	3891	3,5
M .Maridueña	2779	2,5
TOTAL	111179	100

* Clientes Agosto 2009
Fuente: [1].

CNEL-Milagro en la actualidad se encuentra en una crisis financiera, resultado de un alto nivel de pérdidas de energía y se caracteriza por ser una de las empresas distribuidoras con mayor índice de nivel de pérdidas en el país.

Factores como: la falta de recursos para la inversión, el mal estado del sistema de distribución, los problemas de comercialización y las malas administraciones, han contribuido a un deterioro en la calidad del servicio que la empresa brinda a sus clientes, y solo han llevado a incrementar las pérdidas de energía de la empresa.

A pesar de los inconvenientes presentados por parte de CNEL-Regional Milagro, los índices de calidad de energía no deben perderse debido a que a sus clientes en todo momento deben recibir un funcionamiento continuo, seguro y adecuado de los equipos sus eléctricos y procesos asociados, sin afectar el medio ambiente y el bienestar de las personas.

Requiriendo de soluciones factibles previo al estudio a desarrollar en este trabajo en el caso que se presenten valores fuera de los límites estipulados en la regulación del CONELEC acerca de la calidad del producto para las empresas distribuidoras y la influencia de armónicos de corriente en su sistema de Distribución de acuerdo a la Norma IEEE – Standard 519-1992.

5. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE MEDICIONES

Para el estudio de Calidad de Energía en la Corporación Nacional de Electricidad Regional Milagro S.A. dentro de la zona urbana de Milagro acerca de la calidad del producto se analizó: nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje (flickers y armónicos de voltaje) y factor de potencia, además se adiciona el análisis de armónicos de corriente para cada una de las mediciones realizadas.

Cabe indicar que el número total de mediciones mínimas para cumplir con la regulación establecida por el ente regulador en lo referente a calidad del producto deben ser las siguientes mediciones por mes:

- 3 Subestaciones
- 5 Transformadores de Distribución
- 10 Usuarios Baja Tensión
- 2 Usuarios de Media y Alta Tensión

El siguiente estudio cumple con los requerimientos para un estudio de calidad de energía del servicio eléctrico de distribución acerca de la calidad del

producto dentro de la zona urbana de Milagro; debido a que ésta es una gran zona productiva incluyendo dentro de su sistema una generación no convencional.

Para la colocación del equipo de adquisición de datos se realizó una distribución estratégica para obtener una muestra uniforme de usuarios y equipos a medir.

5.1. Determinación de parámetros y ejecución de mediciones

Se toma en consideración los valores dados en la regulación como valores de ajustes en el momento de colocación del equipo de medición Topas 1000 (el mismo que **cumple** con las características para un estudio de Calidad de Energía), los cuales servirán de valores referenciales y que en este estudio se ha hecho énfasis, y cuyos valores límites se presentan en la Tabla 2 y 3.

Tabla 2: Variación de Voltaje

Nivel de Tensión	Subetapa 2 %
Alto Voltaje	5,0
Medio Voltaje	8,0
Bajo Voltaje	8,0

Perturbaciones de Voltaje:

a) Flickers: Menor a $Pst^5 = 1$ (umbral de irritabilidad)

Tabla 3: Distorsión Armónica de Voltaje

Distorsión Armónica	Nivel de Tensión	
	> 40 kV	< 40 kV
THD ⁶	3	8

Factor de Potencia: Mínimo 0.92

Para el análisis a armónicos de corriente que permita realizar un control en cada una de las presentes mediciones en este estudio se tomó en consideración la siguiente norma internacional:

IEEE – Standard 519-1992: “Especifica valores máximos del THD de corriente, este valor debe ser como máximo de 20% de la fundamental, para considerar afectado el sistema el número de datos que sobrepasan el valor máximo (20 %) deben superar el 5 % de las mediciones tomadas.”

⁵ Pst: Índice de severidad del flicker de corta duración

⁶ THD: Total Harmonic Distorsion

5.2. Análisis y resultados de las mediciones

5.2.1. Subestaciones:

Cumple con la Regulación del CONELEC acerca de la Calidad del Producto en Subestaciones con el nivel de voltaje, estableciendo una variación menor $\pm 8,0\%$.

De manera complementaria se muestra que:

- Factor de potencia: mayor a 0.92.
- Flickers: menor a $Pst = 1$.
- Thd de voltaje: menor a $Thd=3$.

Adicionalmente cumple con mediciones de Thd de corriente de acuerdo a la norma internacional IEEE–Standard 519-1992 estableciendo un Thd^6 menor a 20% en relación a la forma de onda fundamental.

5.2.2. Transformadores de Distribución:

Cumplen con el nivel de voltaje acerca de la Calidad del Producto en transformadores de distribución, estableciendo una variación menor al $\pm 8,0\%$ en su nivel de voltaje

Cumple con el nivel de flickers acerca de la Calidad del Producto de acuerdo a la regulación en transformadores de distribución, estableciendo una medición menor al $Pst^5=1$.

Cumple con el Thd de voltaje acerca de la Calidad del Producto en transformadores de distribución, estableciendo una variación menor de THD de 8% en relación a la forma de onda de voltaje fundamental.

De manera complementaria se muestra que:

- Factor de potencia: menor a 0.92. En el factor de potencia, referencialmente se desea obtener un valor no menor del 0.92, y debido a este bajo factor de potencia incide en lo relacionado al incremento de pérdidas técnicas; considerando que en promedio de las mediciones observadas se cumple con el factor de potencia de 0.92.

Adicionalmente cumple con mediciones de Thd de corriente de acuerdo a la norma internacional IEEE–Standard 519-1992 estableciendo un Thd menor a 20% en relación a la forma de onda fundamental.

5.2.3. Consumidores de bajo voltaje:

Cumplen con el nivel de voltaje acerca de la Calidad del Producto en consumidores de bajo voltaje estableciendo una variación menor al $\pm 8,0 \%$ en su nivel de voltaje.

De manera complementaria se muestra que:

- Factor de potencia: menor a 0.92. El factor de potencia referencialmente se desea obtener un valor no menor del 0.92, y debido a este bajo factor de potencia incide en lo relacionado al incremento de pérdidas técnicas y pérdidas de eficiencia en los equipos eléctricos.
- Flickers: menor a $Pst = 1$.
- Thd de voltaje: menor a $Thd=8$.

No cumple con mediciones de Thd de corriente de acuerdo a la norma internacional IEEE–Standard 519-1992 estableciendo una variación mayor de Thd, mayor al 20% en relación a la forma de onda de corriente fundamental, y se presenta principalmente debido a:

- ✓ Utilización de focos ahorradores
- ✓ Falta de colocación de puesta a tierra

Se realizó una segunda medición en estos usuarios colocando su sistema de puesta a tierra y cambiando todas sus lámparas fluorescentes por focos incandescentes; para analizar los resultados con las primeras mediciones donde no se encontró usuarios con dichas características.

Realizado los cambios dentro de sus instalaciones de los mismos primeros usuarios de bajo voltaje, se obtiene:

Cumplen con el nivel de voltaje acerca de la Calidad del Producto en consumidores de bajo voltaje estableciendo una variación menor al $\pm 8,0 \%$.

De manera complementaria se muestra que:

- Flickers: menor a $Pst = 1$.
- Thd de voltaje: menor a $Thd=8$

En la Tabla 4 en la segunda medición del factor de potencia, se encuentra superior a 0.92 y se debe al no uso de lámparas fluorescentes; por el uso de focos incandescentes y una correcta instalación del sistema de puesta a tierra que de acuerdo al instructivo de servicio para el suministro de electricidad emitido por parte del distribuidor, que a su vez no regula su cumplimiento en usuarios.

Tabla 4: Comparación de Factor de Potencia

USUARIO	MEDICION1	MEDICION2
MEDICIONES	FP FASE	FP FASE
FP MÁXIMO	0,99972	1
FP MÍNIMO	0,50634	0,8975
FP PROMEDIO	0,56	0,99
FP <0.92	799	7
% FP <0.92	79,19	0,69
MEJORA %	99,31%	

No cumple con mediciones de Thd de corriente de acuerdo a la norma internacional IEEE–Standard-519-1992 estableciendo una variación mayor al Thd mayor al 20% en relación a la forma de onda fundamental, cabe indicar que en las actuales mediciones el total de mediciones fuera de límites se redujo en un 64.16% a la anterior medición.

Tabla 5: Comparación de THD de corriente

USUARIO	MEDICION1	MEDICION2
MEDICIONES	THD FASE	THD FASE
THD>20	558	200
% THD>20	55,30	19,82
CUMPLE NORMA	NO	NO
MEJORA %	64,16%	

5.2.4. Consumidores en medio voltaje:

No cumple con la Regulación del CONELEC acerca de la calidad del producto en consumidor servido en medio voltaje con relación al factor de potencia, estableciendo mediciones menores que el 0.92 que rige la norma.

Cabe indicar que en promedio el factor de potencia en las mediciones cumple con los valores emitidos por el CONELEC.

De manera complementaria se muestra que:

- Nivel de voltaje: establece una variación menor al $\pm 8,0\%$.
- Flickers: menor a $Pst = 1$.
- Thd de voltaje: menor a $Thd = 8$.

No cumple con mediciones de Thd de corriente de acuerdo a la norma internacional IEEE–Standard-519-1992 estableciendo una variación de THD mayor al 20% en relación a la forma de onda fundamental, y se presenta principalmente debido a utilización de focos ahorradores y mala regulación en el uso de bancos fijos y regulables de capacitores.

6. APLICACIÓN DE PROGRAMA PARA ANÁLISIS DE ARMÓNICOS DE CORRIENTE

Para el análisis, del efecto de los armónicos de corriente en un sistema de distribución se ha desarrollado una aplicación de interfaz en el programa de ingeniería eléctrica “LABVIEW”.

Si se realiza una simulación que incorpore el ingreso de una señal senoidal de corriente y ondas armónicas, entonces la consecuencia obtenida será una señal senoidal distorsionada en su forma de onda.

El análisis se basa en el diseño de un “filtro” que minimiza el efecto de ondas armónicas (múltiplos de la onda fundamental) en la señal de entrada senoidal, de manera que los impactos de éstas se minimicen por su presencia.

Los elementos para la simulación y aplicación del filtro armónico son los siguientes: señal senoidal, frecuencia, amplitud, desfase, múltiplos armónicos y filtro armónico.

La Fig. 5 presenta la forma esquemática del algoritmo implementado para resolver el problema de distorsión de la forma de onda de una señal senoidal de entrada con la presencia de armónicos de corriente.

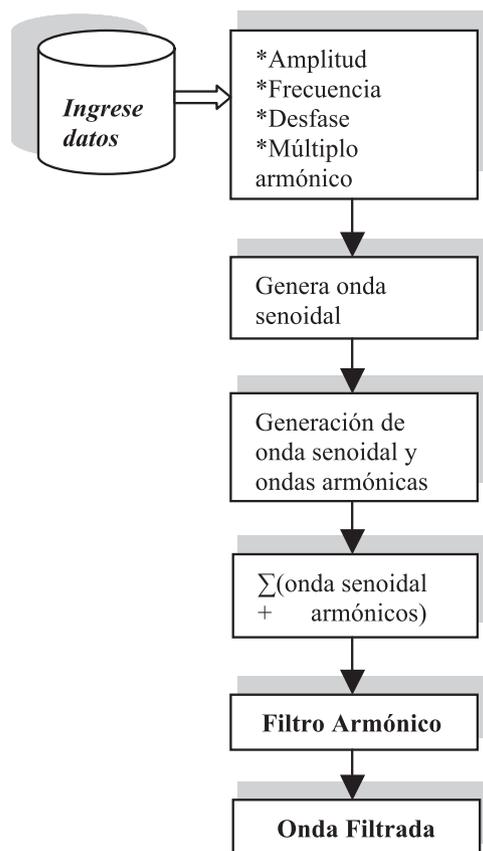


Figura 5: Algoritmo de Filtro Armónico

En el paso 1 (Fig. 6) muestra la interfaz que permite la inserción de datos.

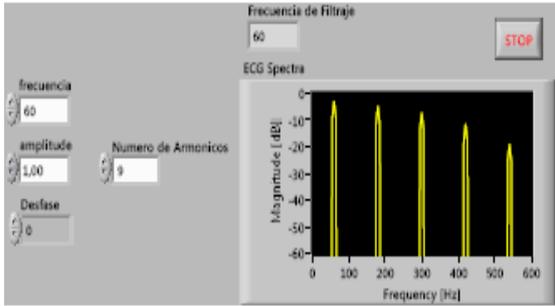


Figura 6: Interfaz de aplicación

En el paso 2 (Fig. 7) la interfaz del programa permite se modela la onda de entrada senoidal de entrada.

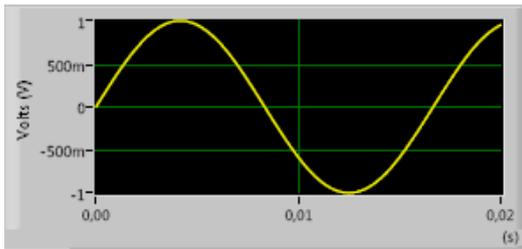


Figura 7: Señal senoidal de entrada de voltaje

En la Fig. 8 se modela el grupo de ondas armónicas (de acuerdo al múltiplo ingresado) que incidirán para la distorsión de la forma de onda, conjuntamente con la señal senoidal.

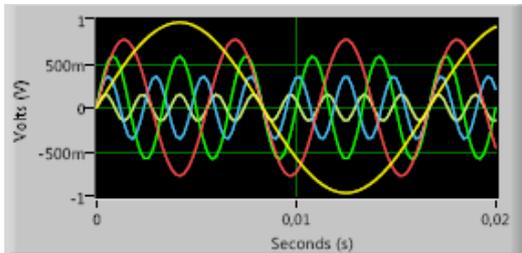


Figura 8: Curvas de ondas armónicas y señal senoidal

En la Fig. 9 se modela el incidencia de la onda sinusoidal junto los armónicos de corriente.

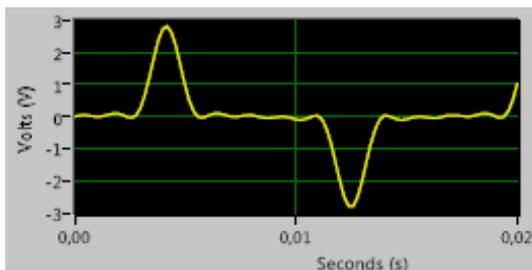


Figura 9: Curva del comportamiento de la onda senoidal afectada por armónicos

En la Fig. 10 y 11 se muestran la interfaz desarrollada del filtro paso banda para eliminar o reducir el efecto de los armónicos en la señal inicial. En este control se observa el ingreso de datos, generación de la señal senoidal y control de la señal distorsionada dada por el filtro para la ejecución de la acción de eliminar el efecto armónico.

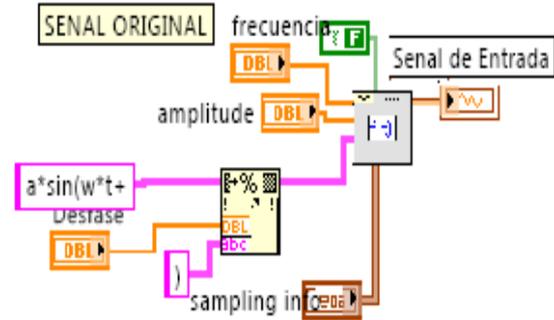


Figura 10: Control de distorsión de la señal senoidal

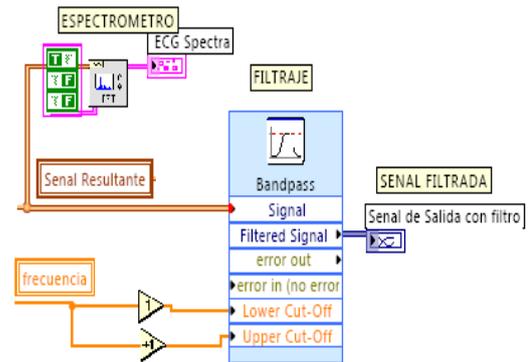


Figura 11: Filtro armónico

En la Fig. 12 se muestra el resultado de la señal de entrada filtrada; prioritariamente con una baja distorsión en su forma de onda.

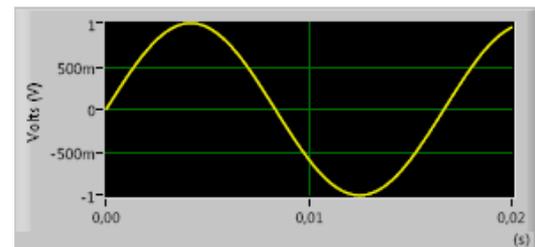


Figura 12: Señal Resultante

De esta manera el diseño de interfaz presentado muestra que es posible minimizar el efecto de armónicos en el sistema de Distribución con pequeñas aplicaciones de ingeniería sobre filtros armónicos.

Cabe mencionar que minimizar el efecto armónico (producido por cargas no lineales), ayuda eficazmente

a que nuestros sistemas eléctricos tengan una mejor confiabilidad, mayor vida útil de nuestros equipos asegurando su operatividad.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A nivel de subtransmisión en subestaciones de distribución no se presenta problemas de voltaje en lo referente a la Regulación del CONELEC ya que las variaciones se encuentran dentro del $\pm 8,0\%$ que es el rango de la regulación. En lo referente a perturbaciones de voltaje posee mediciones fuera del límite menores al 5% del total de mediciones y posee un factor de potencia aceptable de 0.92.

En relación con los transformadores de distribución cumple con el nivel de voltaje con variaciones menores al $\pm 8,0\%$ de acuerdo a lo estipulado por la regulación del CONELEC, y a su vez con la distorsión de la forma de onda (armónicos de voltaje y flickers) con mediciones fuera del límite menor al 5% del total de mediciones.

En los transformadores de distribución se tiene un factor de potencia aceptable y alcanza un promedio alrededor de 0.92.

Para consumidores de medio y alto voltaje el factor de potencia es 0.75 que es mucho menor que el 0.92 estipulado en la regulación. Este bajo factor de potencia es posible que se dé por tener un sistema deficiente de puesta a tierra; un mal sistema de puesta a tierra hace que se tenga corrientes armónicas y éstas van a afectar el factor de potencia, disminuyéndolo notoriamente y a su vez presentándose en la mayoría de casos un mala regulación de sus bancos propios de capacitores.

En consumidores de medio y alto voltaje cumple en su totalidad con el nivel de voltaje con variaciones menores al $\pm 8,0\%$ que es rango de la regulación y en relación con la distorsión de la forma de onda (armónicos de voltaje y flickers) con mediciones menores al 5% del total de mediciones.

En usuarios finales de bajo voltaje en lo referente al nivel de voltaje cumple con la Regulación del CONELEC con variaciones menores al $\pm 8\%$ que es el rango de la Regulación y no se presentan perturbaciones de voltaje mayores al 5% del total de mediciones.

Dado los estudios realizados en usuarios finales de bajo voltaje existe una gran inserción de armónicos de corriente con mediciones fuera del límite en un total del 55% y a la vez se obtuvo un bajo factor de potencia alcanzando

valores de 0.50; todo esto debido principalmente a la circulación de armónicos dentro de sus instalaciones dado principalmente por el uso de focos ahorradores y la falta de un buen sistema de puesta a tierra. Por ello que se realizó una segunda medición a usuarios finales con las siguientes características:

*Usuario Bajo Voltaje: se colocó una varilla puesta a tierra y cambio total de focos ahorradores por focos incandescentes, con ello se obtuvo mediciones de factor de potencia fuera de límite en un total de 7, es decir obteniendo valores superiores al 0.92, reducción de armónicos de corriente en total del 60% a la anterior medición en que no contaba con sistema de puesta a tierra.

De esta manera usuarios, a través de este análisis se haga énfasis al estudio y adecuada colocación del sistema puesta a Tierra, pues la no colocación de la misma incrementa los armónicos de corriente y a su vez reduce el valor del factor de potencia considerablemente.

En relación a la simulación presentada en éste estudio se da énfasis que el gran uso de cargas no lineales, su efecto de distorsión de la forma de onda se logra controlarlo mediante una aplicación interactiva presentada; pero que en la práctica existen una gran cantidad de filtros que minimizan el efecto de armónicos de corriente que inciden notoriamente en la eficiencia de la red de Distribución

Actualmente debido al gran uso de focos ahorradores (utilizados debido a costos menores en pagos de energía hasta de un 60% en el valor de las planillas, alta eficiencia y disminución de CO2 para la generación de energía térmica), incentivada por el actual Régimen; se observe su efecto a través de la Pérdida de Calidad de Energía en los Sistemas de Distribución.

Finalmente lograr controlar el efecto de la distorsión armónica a través de filtros en los usuarios (debido al gran uso de cargas no lineales) para una mejor vida útil de los equipos eléctricos sensibles a distorsiones de forma de onda, sin afectar el ambiente y el bienestar de las personas.

Con la aplicación de la regulación del CONELEC No.- 004/01 para nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje (armónicos de voltaje, flickers), factor de potencia y en éste estudio análisis para armónicos de corriente, se hace imprescindible que los usuarios realicen estudios de Calidad de Energía a fin de acondicionar sus instalaciones, evitar penalizaciones y mejorar la vida útil de sus equipos eléctricos.

Siendo la Calidad de Energía un tema muy importante y de especial interés en la actualidad, tanto para las empresas eléctricas como para los usuarios, se deberían profundizar en la investigación para encontrar soluciones para el control de armónicos y flickers, temas que podrían aprovechar estudiantes para tesis de grado.

8. AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestra familia, cordialmente a la Dirección de Planificación Corporación Nacional de Electricidad del Litoral S.A. Regional Milagro S.A. por permitir el desarrollo y estudio del tema y a la Corporación Centro Nacional de Control de Energía por su incentivo a la investigación en post del mejoramiento profesional.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dirección de Planificación Corporación Nacional de Electricidad Regional Milagro S.A. (2008). "Instructivo de servicio para el Suministro de Electricidad", vol. 1, pp. 5-50, Milagro, Ecuador.
- [2] Regulación CONELEC N°-004/01 (2001). "Calidad de Servicio eléctrico de distribución". Resolución N° 0116/01, 23 mayo 2001, Quito, Ecuador.
- [3] Aysen Arsoy, Mark Halpin, Yilu Liu; Modeling and Simulation of Power System Harmonics, CD room 1999.
- [4] Josep Balcells; Calidad De la red eléctrica: ¿Cómo medirla?, Departamento de Ingeniería Electrónica UPC, Sección Terrassa. Montevideo Uruguay, 2003
- [5] Michael Z. Lowenstein, Harmonic current and voltage distortion, Newspaper PQ CORNER, EC&M, November 2002.

<http://www.conelec.com.ec>

<http://www.ieee.org>



Oscar Stalin Castañeda Ordóñez.- Nació en Milagro 12 marzo 1985. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Superior Politécnica del Litoral el 3 de febrero 2009 Actualmente posee el cargo de Administrador

de Liquidación y Facturación Guayaquil-CENACE y sus principales áreas son: Liquidación de Transacciones Comerciales del Mercado Eléctrico Mayorista y Calidad de Energía en Sistemas Eléctricos de Potencia.



William Javier Castañeda Ordóñez.- nació en Milagro 03 enero 1984. Recibió su título de Ingeniero Eléctrico de la Escuela Superior Politécnica del Litoral el 20 de febrero 2006. Actualmente

posee el cargo de Ingeniero de la Unidad de Obras Eléctricas Municipales y Fundaciones de la empresa Eléctrica de Guayaquil. Se encuentra finalizando la Maestría en Administración de Empresas ESPAE-ESPOL y sus principales áreas de interés son: Administración de Empresas, Sistemas Eléctricos de distribución subterráneos y Calidad de Energía en Sistemas Eléctricos de Potencia.