

Mitigación de la Contaminación Armónica en Subestaciones de la Empresa Eléctrica Regional CENTRO SUR C.A.

M. Toledo

Empresa Eléctrica Regional CENTRO SUR

Resumen-- El presente estudio realiza un análisis de la contaminación armónica existente en las S/E de la CENTROSUR, representando un 12,04% de THDI en la 5^{TA} armónica. Razón por la cual, para cumplir con la normativa que regula la calidad del producto, se realiza la modelación de un filtro butterworth que mitigará el efecto de la contaminación armónica hasta en un 75% cumpliendo así con los parámetros de calidad, evitando pérdidas de fiabilidad y confiabilidad en las instalaciones, equipos de protecciones y sobre todo en el balance económico que presentan las pérdidas técnicas y por energía no suministrada. Afectando así la matriz energética del país y saliendo de las responsabilidades ambientales.

Palabras Clave-- Armónicos, pérdidas, calidad, subestaciones.

1. OBJETIVOS

En base a la información de las mediciones actuales y de las estadísticas se determinará el grado de contaminación existente en las subestaciones, con el objetivo de plantear soluciones para mitigar el efecto de los inconvenientes producidos por los armónicos, de tal modo que la CENTROSUR cumpla con los parámetros de calidad aceptados por la normativa nacional e internacional.

2. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

En un sistema eléctrico, los aparatos y equipos que son conectados por los usuarios a la red eléctrica de nuestro medio, están diseñados para operar a 60 ciclos por segundo, con una tensión y corriente sinusoidal. En la actualidad el cambio de tecnología a electrónica produce variación en las ondas sinusoides de tensión y corriente, debido a esto, la frecuencia produce oscilaciones conocidos como Armónicos o componentes armónicas.

En el país la única norma que rige es la INEN, adicionalmente se encuentran regulaciones impuestas por órganos y entes de control del sistema eléctrico. De no existir normativas que aclaren o concluyan el estudio, los organismos competentes han tomado como alternativas, ajustarse a normas internacionales

con la aceptación y el fiel cumplimiento de los órganos normalizadores ecuatorianos. Para asegurar un nivel satisfactorio de la prestación del servicio eléctrico.

Métodos para analizar los armónicos

Existe una gran variedad de métodos analíticos 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 de los diferentes métodos. 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.

- MEMOBOX 300
- TOPAS 1000
- NEXUS 1252

EQUIPO DE MEDICIÓN NEXUS 1252

En este equipo los datos de alto desempeño de uso y calidad de potencia siempre están disponibles en línea en el medidor de potencia Nexus para proveer la información de sistemas de potencia de manera inmediata. Este equipo (Nexus 1252) provee grabación avanzada de disturbios, análisis de Flicker y, reportes de Calidad de Potencia basados en Inteligencia Artificial.

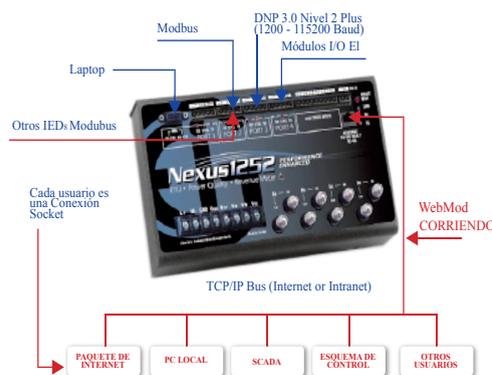


Figura 1: Equipo de medición NEXUS 1252

Mediciones

El equipo que se utiliza para las mediciones es el analizador de energía Nexus 1252, es un analizador de Energía que puede ser utilizado para determinar calidad de energía en conformidad con los estándares aplicables del CONELEC.

El equipo Nexus 1252 es colocado después del transformador de potencia como un totalizador de los diferentes alimentadores primarios de cada subestación, estas mediciones son registradas cada diez minutos y guardadas automáticamente, las cuales son analizadas por el departamento encargado de la EERCS.

3. APLICACIÓN EN LA EMPRESA

Actualmente la E.E.R.C.S C.A. cuenta con 13 subestaciones las cuales tienen en total 49 alimentadores con aproximadamente 290.000 clientes, con una área de concesión de aproximadamente 29.640 Km², sirviendo a las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago.

Del análisis de las mediciones realizadas se concluye que las más afectadas por armónicos son las subestaciones 01 y 02, debido principalmente a que las mismas sirven al centro histórico de la ciudad, donde la carga es predominantemente comercial.

4. ADAPTACIÓN E INNOVACIÓN

El análisis contemplará la contaminación armónica de voltaje y corriente. Para el efecto se tomó datos de las diferentes cargas contaminantes, determinando el porcentaje de distorsión que introducen a la red dichos equipos.

Armónicos de voltaje: Considerando que el tipo de carga y los armónicos medidos encontrados en las subestaciones son de orden similar, el estudio tomara como entrada para el modelo general los datos registrados en la S/E 01.

Contrastando los datos obtenidos del equipo registrador de calidad, con la norma se puede concluir que el THDv de la S/E 01 no supera el margen permitido en la norma para ninguna de las armónicas.

Armónicos de corriente: El porcentaje de distorsión armónica de corriente en la S/E 01 excede el límite permitido por la norma IEEE 519 en la 5^{ta} armónica, cabe mencionar que la regulación de

calidad vigente en el país no hace referencia a este tipo de distorsión o sus límites.

El valor máximo medido se da en la 5^{ta} armónica de la fase A con un valor de 12,55% de distorsión. Teniendo como límite un valor máximo de 12% de THDi.

DISTRIBUCIÓN ARMÓNICA DE FRECUENCIA PARA CORRIENTE

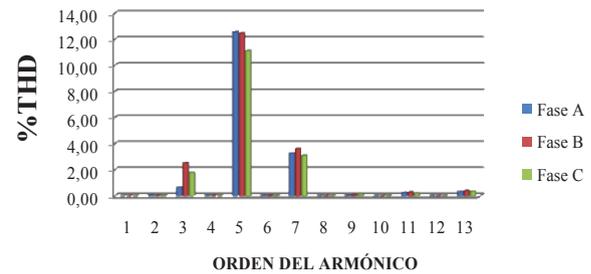


Figura 2: Espectro y forma de onda de corriente

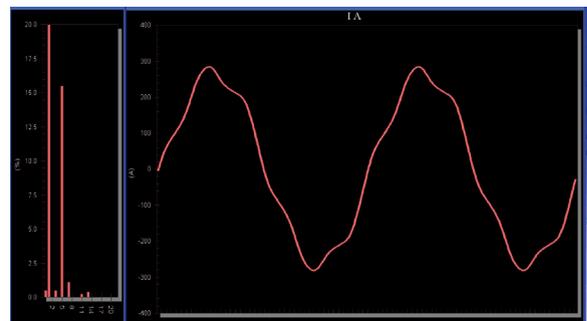


Figura 3: Espectro y forma de onda de corriente.

Análisis de las perturbaciones producidas en las señales de corriente

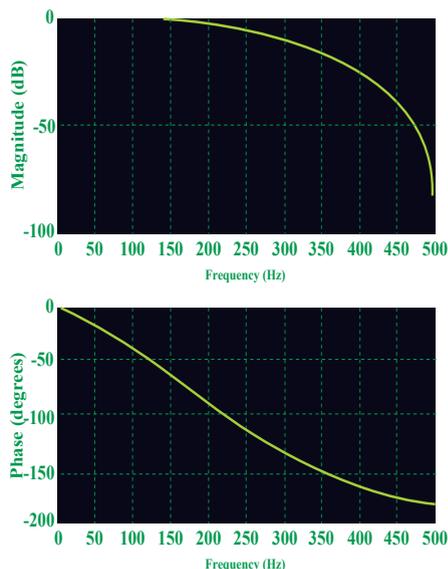
En la siguiente figura se muestra la representación de la contaminación armónica en la S/E 1, el comportamiento en función del tiempo de las diferentes cargas contaminantes se dan en las primeras horas del día, debido a que en ese instante de tiempo permanecen conectados un sin número de equipos electrónicos de pequeña potencia por lo que la inyección de armónicos a la red es notoria, a medida que se incrementa la curva de carga hasta llegar a su valor pico la curva de armónicos se reduce por lo que es indirectamente proporcional a la curva de armónicos en el tiempo, ósea la carga lineal o resistiva prevalece y absorbe los armónicos en el rango medio y pico de la curva de carga, por lo que la incidencia de contaminación aumenta notoriamente en el periodo de tiempo que puede oscilar entre las 23H00 y las 07H00 como valor pico de la curva de armónicos. Esta curva podrá definir el rango de tiempo en el que debería ingresar a trabajar el filtro para corregir la forma de onda y reducir los armónicos.



Figura 4: Espectro y forma de onda de corriente

Mitigación del problema

Luego del análisis, se opta por un filtro tipo butterworth, el cual se ajusta a los requerimientos de mitigación necesaria, dicho filtro estará sintonizado para la frecuencia de armónico que se desea corregir en cierta medida.



Diseño del filtro mediante (Matlab)

Se diseñara un filtro de segundo orden con una frecuencia de corte de 200Hz, el cual especificara las características de diseño del filtro en el programa MATLAB.

Para visualizar los parámetros utilizamos tres ondas que serían las siguientes: Onda Pura (Wave), Onda Distorsionada (Prom) y la Onda filtrada (Respuesta).

En el diagrama de bloque a continuación descrito se realizó la diferencia entre las ondas de ingreso, para así obtener el porcentaje de corrección de la distorsión armónica. En la Fig. 5 se puede apreciar la onda resultante con una magnitud bajo los límites permisibles, cabe recalcar que esta respuesta dará el porcentaje que se está corrigiendo.

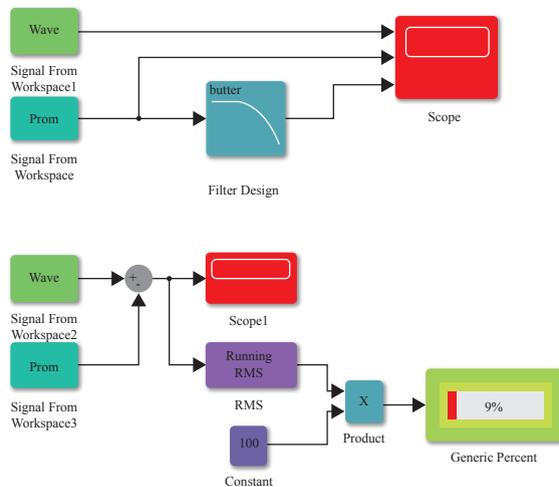


Figura 5: Diseño del Filtro en Simulink

5. RESULTADOS

Posterior al diseño y simulación del filtro se obtiene como resultado los datos mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Comparación del THDi %

ORDEN ARMÓNICO	THDi % IEEE 519	THDi % MEDIDO	THDi % CORREGIDO
3 ^{ro}	16.60	1.66	1.66
5 ^{to}	12.00	12.04	3.04
7 ^{mo}	8.50	3.32	3.32

El filtro únicamente actúa sobre el armónico de orden 5, logrando una mejora del 9% en el valor individual. Los valores presentes en la Tabla 1 THDi% medido resulta de las 3 fases de la subestación.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO

El estudio determinó técnicamente el porcentaje total de pérdidas por armónicos en la **subestación 1**, así como el coste que representan para la empresa, si bien se plantea una recuperación de perdidas, que representaría un ahorro para la distribuidora, mayores ventajas se consiguen garantizando al cliente un servicio de calidad. Adicionalmente se analiza también la viabilidad de la implantación del filtro, su coste y recuperación de inversión mediante la disminución de pérdidas.

Costos por pérdidas de energía causados por la contaminación armónica

En la actualidad en la subestación 1 de la CENTROSUR presenta un porcentaje de pérdidas causadas por la contaminación armónica del 12,04%

THD, al realizar el modelo matemático del filtro para la corrección, esta contaminación se reduce al 9%, con la reducción planteada la CENTROSUR se ajusta a las regulaciones y normativas internacionales analizadas en este estudio.

La contaminación producida por el 5^{to} armónico representa una pérdida de energía de 8.624kWh/año a un costo de 491,57 \$/año.

La CENTROSUR, tendría que invertir 18.381,72 USD para corregir la distorsión armónica producida en la subestación. Teniendo una recuperación del capital invertido en un tiempo de 38 años. Económicamente el proyecto no puede ser viable, pero se debe tener en cuenta que en la actualidad, las regulaciones emitidas por el órgano regulador CONELEC en el país, aún no establece multas y penalizaciones por incumplir con regulaciones nacionales o normativas internacionales.

Las pérdidas mensuales en los transformadores de potencia ascienden a:

Tabla 2: Pérdidas producidas en el 5^{to} armónico en la S/E 1

Pérdidas mes [kWh]	12% THD Pérdidas [kWh]	9 % Corrección [kWh/mes]	9 % Corrección [kWh/año]
7.985,19	958,22	718,67	8.624,00

De las mediciones realizadas en la subestación 1 se tiene que, la energía total consumida es de 2.699.030,61 kWh/mes, valorada en 1.846.136,94 \$/año, por lo que la empresa actualmente en dicha subestación anualmente pierde 491,57 \$/año.

Con la corrección del 9% del THD en el total de las pérdidas en los transformadores en las subestaciones de la CENTROSUR.

Ahorro en [MWh]	274,05
Ahorro en [USD]	15.758,03

De instalarse los filtros en todas las S/E de la CENTROSUR las pérdidas de energía se reducirían a un 5,98% anual en el global de la energía total disponible.

7. CONCLUSIONES

Finalmente el estudio plantea un conjunto de consideraciones y recomendaciones para una posible implantación, así como los resultados económicos, que reflejaran su rentabilidad y las pérdidas de energía que presentan las subestaciones en la CENTROSUR.

Adicionalmente se sugiere a las empresas distribuidoras realicen continuos análisis de la calidad del producto.

El CONELEC debería emitir una regulación que sancione la polución armónica realizada por los consumidores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE 519, Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electric Power Systems.
- [2] IEC-61000-4-30; “Método de medición de la calidad de potencia”.
- [3] Regulación No. CONELEC - 003/08; “Calidad del Transporte de Electricidad y del Servicio Transmisión y Conexión en el SNI” Res. 033/08; 28 de febrero de 2008.
- [4] LEY DE RÉGIMEN DEL SECTOR ELÉCTRICO, “Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, Abril 2007.



Marco Antonio Toledo Orozco.- Nació en Cuenca-Ecuador el 12 de diciembre de 1981, sus estudios primarios realizados en la escuela Hernán Cordero, los secundarios en el colegio técnico Daniel Córdova Toral y los estudios superiores en la Universidad Politécnica Salesiana. En la facultad de ingeniería eléctrica. Actualmente desempeña sus labores en la empresa eléctrica CENTROSUR, sus campos de investigación son las; Pérdidas de energía, uso eficiente y energías alternativas.