ANÁLISIS Y SOLUCION A LAS DISTORSIONES ARMÓNICAS EN EL SISTEMA ELECTRICO DE BASUIL POR LA CARGADORA DE BATERIAS

Marcos Defaz Valarezo[1], Christian Ramírez Paredes[2], Jorge Aragundi Rodríguez[3]

[1]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2004

[2]Ingeniero Eléctrico en Potencia 2004

[3]Director de Tesis. Ingeniero Eléctrico en Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Postgrado Brasil, Escola Federal de Enghenaria de Itajuba, 2000.

RESUMEN

La existencia de perturbaciones en los sistemas eléctricos provocadas por cargas generadoras de armónicas puede causar fallas en equipos conectados a los mismos, entre los equipos que se ven afectados están los capacitores usados para la corrección de factor de potencia, debido al incremento de estas cargas deben observarse las condiciones bajo las cuales estos operaran.

Este trabajo trata sobre las explosiones en los bancos de capacitores del edificio DIGMAT en la Base Naval de Guayaquil ocasionadas por distorsiones armónicas en el sistema eléctrico generadas por la operación de la cargadora de baterías que suministra poder a los buques submarinos.

Para cumplir con este trabajo, se realizó un estudio de penetración de armónicos en el sistema, para lo cual se usó un equipo de medición que cumple con las normativas del CONELEC, conectándolo en puntos estratégicos, con lo cual se determinaron los niveles armónicos; con esta información y mediante análisis matemático se determinó que el problema presentado en el banco de capacitores al operar la cargadora de baterías es que en determinada frecuencia armónica entran en resonancia. En este trabajo se presenta la solución al problema de resonancia.

INTRODUCCIÓN

Las empresas de suministro eléctrico exigen de sus usuarios un alto factor de potencia, sino se cumple con las normas locales en cuanto a este parámetro el usuario es penalizado económicamente. El usuario por su parte se ve en la necesidad de evitar esta penalización mediante la corrección de su factor de potencia, la mayoría de estos casos son sobrecargas inductivas razón por lo cual la solución consiste en generar reactivos mediante bancos de capacitores dimensionados adecuadamente.

Por otro lado la existencia de perturbaciones en el sistema eléctrico puede ser la causa de fallas en diferentes equipos conectados al mismo, en particular se analizará la falla de los capacitores ante la presencia de armónicos .

Entre los objetivos de este trabajo están dar una clara visión de la influencia de los disturbios que se introducen en un sistema, de los conceptos de la deformación de la forma de onda por presencia de armónicos, forma de medirlos y evaluarlos, las consecuencias y soluciones disponibles.

A continuación se detalla el problema presentado en la Base Naval de Guayaquil:

La cargadora de baterías de unidades submarinas tiene como función principal dar la carga eléctrica necesaria a los mismos cuando estos se encuentran en su muelle base, su operación se hace en base a los requerimientos de mantenimiento programado. La composición de esta carga consiste de un transformador y dos unidades rectificadoras de seis pulsos.

A partir del año 1998 se comenzó con la política de ahorro de energía en la Base Naval de Guayaquil (BASUIL), razón por la cual se iniciaron los proyectos de implementación de bancos de capacitores, cambios de luminarias, balance de fases en alta tensión, entre otras cosas.

Es desde la instalación de estos bancos que aparece un problema no previsto, como fue el daño reiterado en los capacitores del edificio de la Dirección General del Material (DIGMAT). Estos explotaban y su tiempo de vida útil era inferior al estándar de fábrica. No se descubrió inmediatamente la causa de este problema y se especulaba sobre la calidad y especificaciones de los elementos utilizados en los bancos de capacitores.

Luego de observaciones se relaciona este falla con la cargadora de baterías de submarinos, pues ocurría en el instante en que esta iniciaba sus operaciones de carga. Además se sustenta en que una cargadora compuesta por rectificadores es una fuente generadora de armónicos que podrían afectar a elementos del sistema tales como los capacitores.

En el año 2001 debido a los continuos problemas de este tipo se realizan las primeras mediciones de niveles armónicos en varios puntos del sistema de baja tensión de BASUIL con la finalidad de determinar su magnitud, con la conclusión de que se tome como acción preventiva la operación nocturna o durante el fin de semana de la cargadora junto con la desconexión de todos los bancos de capacitores del sector.

CONTENIDO

En el primer capítulo se hará la introducción a la temática de calidad de energía eléctrica, la evolución de su apreciación y la importancia que esta tiene.

Los problemas se presentan al existir disturbios de la calidad de energía eléctrica en el suministro como por ejemplo los armónicos. La mayoría de las veces resultan en una detención temporaria 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.

En el segundo capítulo se describirán los principales fundamentos teóricos, conceptos y definiciones que tienen relación con nuestro tema, así como también las normalizaciones que debemos considerar y un enfoque al problema generado por la resonancia armónica en los bancos de capacitores.

El tercer capítulo hará la presentación del problema, descripciones físicas, ubicación y operación regular de la red eléctrica de interés.
Con el fin de determinar la causa de los daños en los bancos de capacitores descritos en la introducción se plantea la hipótesis de que la cargadora de baterías produce niveles de armónicos sobre lo permitido por las normas, y son estos armónicos los que recorren la red hasta llegar a los capacitores del edificio DIGMAT con el consecuente perjuicio. Para comprobar esta hipótesis se hace necesario realizar un estudio de armónicos utilizando la metodología propuesta por el CONELEC en el Anexo A: "Regulación No. CONELEC 004/01.- Calidad del servicio eléctrico de distribución"

El cuarto capítulo contendrá la familiarización con el equipo de medición, los temas sobre las mediciones que se realicen en campo, datos escogidos, calendario de ejecución, recolección de datos. Para la realización del trabajo de medición se seleccionaron cinco puntos importantes a lo largo de la red de distribución de la Base Naval, los mismos que deben su importancia a la cantidad de cargas que alimentan y la presunción de ser generadoras de armónicos. En nuestro caso por tratarse de un estudio de distorsión armónica los registros de la medición se programaron para cada 15 minutos ininterrumpidamente durante 7 días cumpliendo lo estipulado en la REGULACION No. CONELEC – 004/01 "Calidad del servicio eléctrico de distribución".

Posteriormente en el quinto capítulo se describirán todas las acciones que se efectúan en el proceso de analizar los datos obtenidos, esto incluye determinar la magnitud del problema, cálculo y presentación de posibles soluciones.
La metodología empleada para realizar el análisis de los datos obtenidos en las mediciones se basa en determinar si los valores de distorsión armónica de voltaje sobrepasa los límites establecidos por

la Regulación No. CONELEC 004/01. Se considerará incumplimiento de esta regulación cuando los valores eficaces (rms) de los voltajes armónicos individuales (Vi') y los THD, expresados como porcentaje del voltaje nominal del punto de medición respectivo, superan los valores límite (Vi´ y THD´) señalados en la tabla siguiente:

Tabla I. Tolerancias para la Distorsión Armónica de Voltaje.

ORDEN DE LA ARMÓNICA (n)	**DISTORSIÓN ARMONICA INDIVIDUAL DE VOLTAJE, DAIV [%]**	
	BAJO Y MEDIO VOLTAJE V≤40 kV	**ALTO VOLTAJE V >40 kV**
IMPARES NO MULTIPLOS DE 3		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7
> 25	0.2 + 1.3*25/n	0.1 + 0.6*25/n
IMPARES MULTIPLOS DE 3		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
> 21	0.2	0.2
PARES		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
> 12	0.2	0.2
THDv, EN %	**8**	**3**

En las cinco subestaciones estudiadas, el valor promedio de THDv es inferior (valores tomados en cada fase) que el valor establecido en la norma. Los valores máximos para el THDv sobrepasan el valor del índice de calidad establecido en pocas ocasiones, esto se produce en determinadas horas, por este motivo se puede decir en términos generales que las cinco subestaciones estudiadas no presentan problemas armónicos.

Analizando otras causas por las que se produzca el deterioro en los capacitores, encontramos que puede existir una condición de resonancia. Del análisis matemático se puede decir que la frecuencia de resonancia que afecta a los capacitores del edificio DIGMAT es aproximadamente de la novena armónica (540 Hz).

La solución planteada para la cargadora de baterías mediante análisis matemático consiste de un filtro especificado con un banco de capacitores de 550 KVAr para 525 V. Un reactor de 10.23 mH a 60 Hz, para 525 V el cuál debe soportar una corriente de 7ª armónica de 197.58 A. Esto muestra que el factor de potencia se mejorará y además el banco de capacitores no tendrá problemas de resonancia por el hecho de formar parte de un filtro y se soluciona el problema de la generación de la 7ª armónica ya que esta se quedará circulando por el filtro y no saldrá al sistema.

El diagrama de conexión de este filtro se lo muestra en la figura 1.

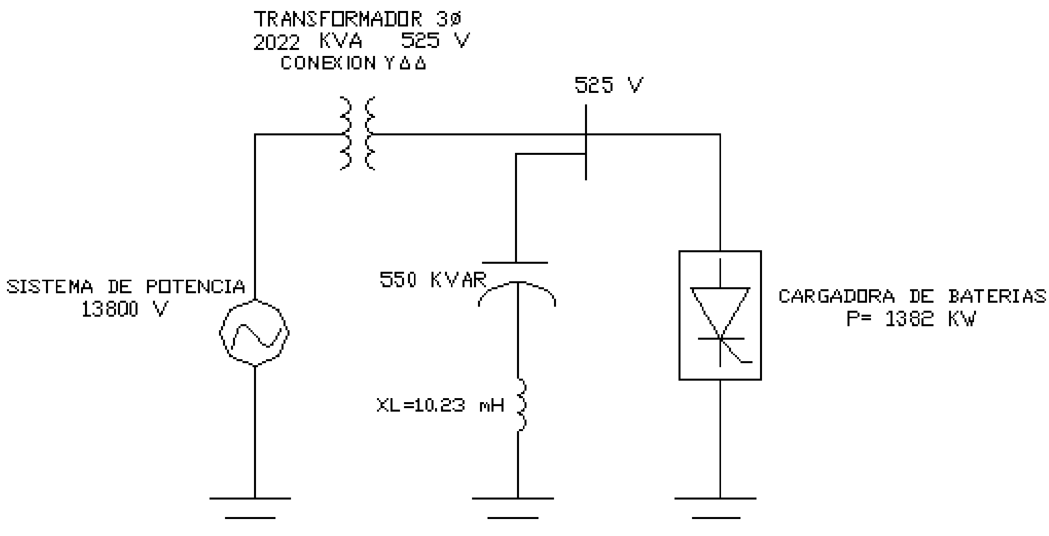

FIGURA 1. Diagrama de conexión del filtro para la cargadora de baterías

La solución para el problema de resonancia en el edificio DIGMAT consiste de un filtro especificado con un banco de capacitores de 120 KVAr para 220 V, que ya está instalado, adicionado con un reactor de 4.98 mH a 60 Hz, para 220 V el cuál debe soportar una corriente de 9ª armónica de 19.61 A. Con esta nueva configuración el banco de capacitores no tendrá problemas de

resonancia por el hecho de formar parte de un filtro y se soluciona el problema de la resonancia con la 9ª armónica ya que el filtro está sintonizado a esa frecuencia.
El diagrama de conexión de este filtro se lo muestra en la figura 2.

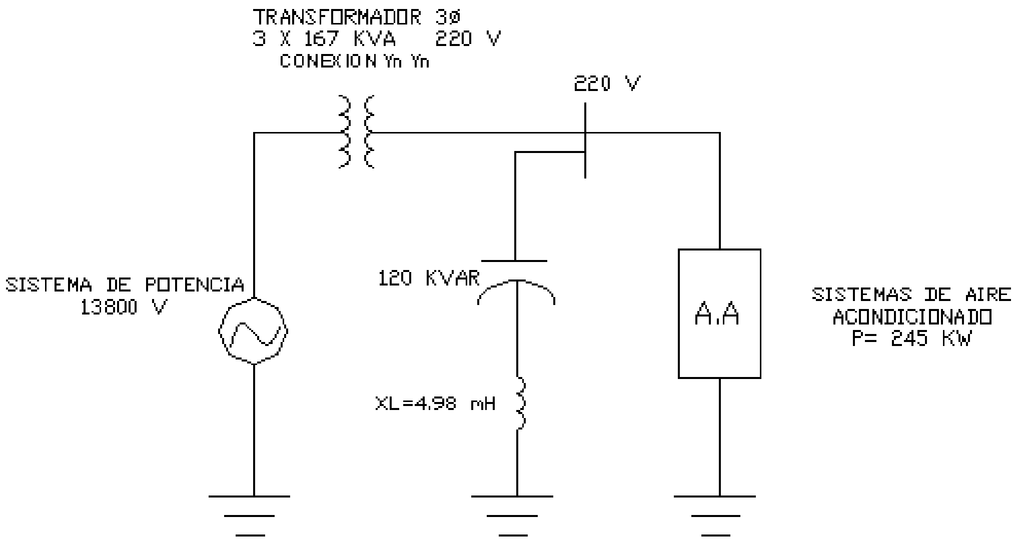

FIGURA 2. Diagrama de conexión del filtro para el edificio DIGMAT.

El sexto capítulo mostrará las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo recolectadas a lo largo de su desarrollo.

CONCLUSIONES

El conocimiento de la teoría de perturbaciones armónicas en un sistema eléctrico permite comprender con más profundidad la forma en que estas afectan a elementos conectados al mismo. La existencia de tensiones y corrientes en frecuencias diferentes a la fundamental (60 Hz) son la razón de pérdidas, fallas y problemas en equipos debido a que no han sido diseñados para trabajar bajo estas nuevas condiciones.
El esfuerzo de las entidades reguladoras en el campo de la electricidad a niveles internacionales y locales facilita la determinación de valores referenciales, que tanto el suministrador como el usuario deben respetar para que los sistemas de potencia operen sin complicaciones. Este también dicta los procedimientos a adoptarse en un estudio de calidad de energía.
Dentro del estudio de penetración de armónicos realizado en este trabajo y haciendo referencia a la hipótesis planteada, el estudio sobre la cargadora de baterías permitió conocer que su operación genera armónicos, como generalmente ocurre con este tipo de cargas, pero estas presentan niveles

de THDv permitidos dentro de la norma establecida por el ente regulador en el país (CONELEC en la Regulación No. 004/01 Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución).
De igual manera al párrafo anterior, las mediciones realizadas con el equipo utilizado reflejan lo que está ocurriendo en el sistema eléctrico ya que este cumple con las normas internacionales y del CONELEC. Por esta razón los datos obtenidos en el edificio DIGMAT permitieron observar que los niveles armónicos que llegan a ese punto desde la cargadora de baterías es mínimo y no llega a ser una razón de daño de capacitores. Mas mediante análisis matemático se determinó la existencia de una frecuencia de resonancia serie entre el sistema eléctrico y el banco de capacitores del edificio.
Las características propias de este caso arrojan a la novena armónica como la frecuencia resonante.
Al presentarse el problema de la resonancia en el banco de capacitores se producen sobrevoltajes, motivo por el cual el banco presenta deterioro al trabajar bajo condiciones fuera de su rango nominal de operación.
Las observaciones de muchos estudios del material bibliográfico y la experiencia de este trabajo permiten afirmar que para la corrección del factor de potencia mediante el uso de banco de capacitores es necesario descartar la presencia de armónicos, caso contrario el diseño deberá considerar esta perturbación para evitar problemas de resonancia entre los mismos y el sistema, consideraciones que generalmente obligan a sobredimensionar la capacidad de los bancos de capacitores e incluso hasta necesitar la instalación de filtros específicos.
El presente estudio permitió aclarar las dudas sobre la razón de la explosión de capacitores en el edificio de DIGMAT y establecer nuevas observaciones necesarias para la corrección del factor de potencia en cualquier punto dentro de la Base Naval de Guayaquil.
La aplicación de los filtros calculados tanto para la cargadora de baterías como para el edificio DIGMAT son recomendables para evitar el problema presentado como es la existencia de problemas de resonancia y además corregir el factor de potencia.
Nuestro trabajo abarcó estudio de penetración de armónicos, cálculo frecuencia de resonancia así como cálculos de filtros como solución. Esto da a entender que se hizo un estudio completo, lo que generalmente las empresas que brindan este servicio no lo efectúan.

REFERENCIAS

1. M. Defaz, C. Ramírez, “Análisis y solución a las perturbaciones en el sistema eléctrico Basuil provocado por la Cargadora de Baterías” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2004)

2. J. Arrillaga, D. Bradley, P. Bodger, Power System Harmonics (Reading, Chichester UK. John Wiley & Sons 1985), Capítulo 2.

3. M. Madrigal, <u>Calidad de la Energía y Análisis Armónico en Sistemas Eléctricos</u>. (Morelia, Instituto Tecnológico de Morelia, junio 2002)

4. Manual del programa, ION Enterprise 3.0. (Power Measurement Ltd, 2002)

5. Regulación Nº - CONELEC 004/01, Calidad Del Servicio Eléctrico de Distribución.(CONELEC, 2001).

6. A. Tejada, A. Llamas, <u>Efectos de las Armónicas en los Sistemas Eléctricos.</u> (Monterrey, Instituto Tecnológico Superior de Monterrey, mayo 2001)