UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

DIPLOMADO SUPERIOR EN GESTIÓN ENERGÉTICA

ESTUDIO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL MIXER DE LA PLANTA DE ASFALTO

ALUMNOS: ING. JORGE EDUARDO PAUTE CUENCA.

ING. OSCAR MARÍA MONTERO MONTERO.

DIRECTOR: Ph.D, Mg.Sc. Ing. Orlys Ernesto Torres Breffe

AGOSTO - 2010

LOJA
ECUADOR

Loja, Agosto de 2010

CERTIFICACIÓN

Doctor, Orlys Ernesto Torres Breffe, DOCENTE del Diplomado Superior en ¨Gestión Energética¨ del Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja¨

CERTIFICA:

Que, la presente tesis titulada ¨**Estudio para mejorar la Calidad de Energía en el Mixer de la Planta de Asfalto**¨, previa a la obtención del Diplomado Superior en Gestión Energética, de los señores ingenieros: Jorge Eduardo Paute Cuenca y Oscar María Montero Montero, ha sido elaborada bajo su dirección y detenidamente revisada por lo que autorizo la presentación y sustentación.

Atentamente,

Dr. Orlys Ernesto Torres Breffe
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Los conceptos, conclusiones, recomendaciones y otros criterios efectuados en el presente estudio de investigación, son de responsabilidad exclusiva de los autores.

Ing. Jorge Eduardo Paute Cuenca

Ing. Oscar María Montero Montero

AGRADECIMIENTO

Los autores del presente estudio de investigación, queremos expresar un agradecimiento a los docentes de la República de Cuba y todos quienes conforman el Nivel de Post Grado del Diplomado Superior de Gestión Energética de la Universidad Nacional de Loja, por su acertada labor en la formación técnica de los recursos humanos del Loja.

Dejamos constancia de nuestro especial reconocimiento al **Dr. Orlys Ernesto Torres Breffe** por la guía y dirección en el desarrollo de la presente tesis.

LOS AUTORES

INDICE

CARÁTULA.... ……I

CERTIFICACIÓN……II

AUTORÍA……III

AGRADECIMIENTO……IV

1. RESUMEN EN CASTELLANO Y TRADUCIDO AL INGLÉS

1.1. Resúmen……..1

1.2. Summary……..2

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Prólogo……3

2.2. Objetivos……..4

2.2.1. Objetivo General……4

2.2.2. Objetivos Específicos……4

3. REVISIÓN LITERARIA

3.1. Calidad de la Energía Eléctrica……...4

3.1.1. Definición de Calidad de Energía Eléctrica……5

3.1.2. Calidad del Producto……..5

3.2. Normas Técnicas……...5

3.3. Problemas típicos de calidad en la Industria……6

3.4. Perturbaciones eléctricas en el sector Industrial……...6

3.5. Flicker……...8

3.5.1. Perturbaciones causantes del Flicker……..9

3.5.2. Características de resonancia……..……...10

3.6. Compensación de la potencia reactiva en sistemas contaminados.....12

3.7. Instalación de banco de capacitores en una planta….……...13

3.8. Fórmulas de circuitos no lineales en condiciones no sinusoidales……16

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Equipos de medición……17

4.2. Métodos de investigación……18

4.2.1. Método de la compensación a partir de datos de un registrador de carga……...19

4.3. Caracterización de la Instalación Eléctrica de la Planta…….23

4.3.1. Diagnóstico del recorrido…….23

4.3.2. Diagrama unifilar de la carga……...24

4.3.3. Cuadro de carga de motores de Inducción……25

4.4. Mediciones de parámetros eléctricos sin compensación de reactivos..25

5. RESULTADOS

5.1. Simulación de flujos de carga……30

5.2. Simulación de resonancia……...31

5.3. Selección del capacitor a partir de datos de un registrador de carga..37

5.4. Resultados Prácticos……...40

5.5. Evaluación económica del sistema de compensación……...44

5.5.1. Costo de investigación……45

5.5.2. Costo por energía no registrada……46

5.5.3. Costo por bajo factor de potencia……...46

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS…….....47

7. CONCLUSIONES……48

8. RECOMENDACIONES……..50

9. BIBLIOGRAFÍA……50

ANEXOS

ESTUDIO PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ENERGIA EN EL MIXER DE LA PLANTA DE ASFALTO.

1.- RESUMEN EN CASTELLANO Y TRADUCIDO AL INGLÉS

1.1. Resumen

El presente estudio se enfoca a la Calidad del Producto en el Mixer de la Planta de Asfalto del Ilustre Municipio de Loja (I.M.L), relacionado con los niveles de voltaje, perturbaciones de voltaje y factor de potencia de acuerdo a la Regulación Vigente del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) - 04/01.

La Planta de Asfalto posee un bajo factor de potencia (promedio 0,65) y fue penalizada mensualmente por la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A (EERSSA) en concordancia con la aplicación del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Suministro de Electricidad (RSSE) , cuyo límite del factor de potencia establece en 0,92.

Se usará el método de medición con los equipos de calidad de energía de la EERSSA, mediciones efectuadas en forma periódica durante los años 2007 al 2009. Aplicación práctica de compensación con los registros de demanda promedio de potencia, dimensionamiento de un banco de capacitores de75 kVAR, instalación a cargo del I.M.L, control y posteriores mediciones.

Evitar la penalización promedio de USD 184 dólares/mensuales por parte de la Distribuidora. Simular el comportamiento de la carga con diferentes Software, estos resultados servirán para analizar diferentes puntos de resonancia de la planta, así como establecer la forma de mitigar los mismos.

Efectuar un analices técnico económico de posibles soluciones, conclusiones y recomendaciones del presente estudio de tesis.

1.2. Summary

This study focuses on Product Quality in the Plant Mixer Asphalt the Illustrious Municipality of Loja (IML), related to the voltage levels, voltage disturbances and power factor in accordance with the Regulations of the National Council Electricity (CONELEC) - 04/01.

Asphalt Plant has a low power factor (average 0.65) and was penalized monthly by the Southern Regional Electricity Company SA (EERSSA) in accordance with the application of Regulation Subs Electricity Supply Regulations (RSSE), which limit the power factor set to 0.92.

Will use the method of measuring quality teams EERSSA power measurements performed on a regular basis during the years 2007 to 2009. Practical application of compensation to the records of average power demand, size of a capacitor bank kVAR de75, installation for the IML, and subsequent control measurements.

Avoid the penalty average of USD $ 184 / monthly by the Distributor. Simulate the behavior of different software load, these results will be used to analyze different points of resonance of the plant, and establish how to mitigate them.

Conduct a technical and economical you analyze potential solutions, conclusions and recommendations of this thesis study.

2. - INTRODUCCIÓN

2.1. Prólogo

El Ilustre Municipio de Loja (I.M.L) posee una planta de Asfalto (ANEXO 1), con la finalidad de producir material de Asfalto para cumplir obligaciones propias del Municipio, así: bacheo, mantenimiento y mejoras de calles y avenidas de la ciudad de Loja.

Esta planta de asfalto está ubicada en el kilometro 13 vía al barrio Carigan sector La Tenería. La producción de la planta es de 70 Toneladas por hora, que no es suficiente frente a una demanda de 80 Tonelada por hora.

Se debe anotar que en la Planta no hay planos eléctricos, ni de baja tensión, ni de media tensión, lo cual dificulta el mantenimiento preventivo y correctivo, la reparación, así como la realización de un estudio de la calidad del producto relacionado con: Nivel de tensión, perturbaciones de voltaje, factor de potencia,

La planta de asfalto del Ilustre Municipio de Loja durante los años 2007 a 2009 fue **penalizada** mensualmente en forma económica por la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A por el bajo factor de potencia (promedio 0,65) en concordancia con la aplicación del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Suministro de Electricidad (RSSE) de 2005 capitulo II, art.11, Regulación Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) Nro. 004/2001 art. Literal 2.3.3, que establece “Valor límite 0,92”

En calidad de estudiantes del Diplomado de Gestión Energética, se escogió éste caso como **“Estudio para mejorar la Calidad de Energía en el Mixer de la Planta de Asfalto”**, para evitar la penalización, planteando posibles soluciones de mejoras en el sistema de la planta, cuyos resultados se socializarán con el Ilustre Municipio para optimizar la operación de la Planta.

El alcance del presente estudio de calidad de energía está dirigido al Mixer de la Planta de Asfalto, cuyo centro de transformación es de 300 KVA, 13200/440 V., marca INATRA.

2.2. Objetivos

2.2.1.- Objetivo General

Proponer alternativas para mejorar la Calidad de Energía en el Mixer de la Planta de Asfalto, cumpliendo con la Regulación del CONELEC - 04/01 referente a la CALIDAD DEL PRODUCTO.

2.2.2.- Objetivos Específicos.

- Estudiar los aspectos teóricos referente s a la Calidad de Energía.
- Caracterizar en detalle la Instalación Eléctrica del Mixer de la Planta.
- Realizar y procesar las mediciones necesarias.
- Proponer y simular posibles soluciones.
- Valoración Técnica-económica de las posibles soluciones.

3.- REVISIÓN LITERARIA

3.1. Calidad de la Energía Eléctrica

La mayoría de los equipos modernos están constituidos por circuitos electrónicos que básicamente están conformados por: diodos, transistores, tiristores, etc., los cuales distorsionan la forma de onda de corriente sinusoidal generando armónicos en el sistema, obteniendo un deficiente funcionamiento de otros equipos, provocando calentamientos excesivos y pérdidas de potencia y energía, especialmente en máquinas eléctricas y conductores pertenecientes al sistema eléctrico de potencia.

La Regulación vigente en el Ecuador por parte del CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (CONELEC) cuya Regulación CONELEC-004/01 se refiere a la Calidad del Servicio de Distribución [9], fue aprobado por el Directorio del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, mediante Resolución Nro. 0116/01, en sesión de 23 de mayo de 2001.

El cumplimiento de los niveles de Calidad de Servicio es supervisado y controlado por el CONELEC, a través de los siguientes índices de Calidad del Producto.

a) Nivel de Voltaje.

b) Perturbaciones de voltaje.

c) Factor de Potencia.

3.1.1. Definición de Calidad de Energía Eléctrica

Calidad de Energía Eléctrica es el conjunto de fenómenos electromagnéticos que caracterizan a las señales de tensión y corriente en un tiempo y espacio

determinado, que tienen como objetivo satisfacer adecuadamente las necesidades de un cliente[1].

3.2. Normas Técnicas

Las normas técnicas más importantes emitidas referente a la Calidad de la Energía Eléctrica son:

- EC 61000,
- IEEE 519 de 1992,
- IEEE 1159 de 1995,
- EN 50160 [5],

La Regulación Nº CONELEC – 004/01[9] vigente en el Ecuador dicta los límites de los aspectos que conforman a la calidad de energía, por ejemplo si hablamos de amplitud de la señal, nos referimos a las variaciones de tensión, que según la regulación deben cumplir los siguientes valores:

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0 %	± 5,0 %
Medio Voltaje	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Urbanas	± 10,0 %	± 8,0 %
Bajo Voltaje. Rurales	± 13,0 %	± 10,0 %

Tabla 1. **Límites de Variación de Tensión según regulación Nº. CONELEC – 004/01.**

Subetapa1: La vigencia del tiempo comprende desde el 23 mayo/2001 hasta noviembre del 2009.

Subetapa 2: Desde noviembre del 2009 en adelante.

[1] Sánchez, Acero, Villamil, Saucedo, Quintana. “Calidad de la Energía Eléctrica CEL”.

Se debe aclarar que varias Distribuidoras del país recién están tratando de adecuar sus sistemas informáticos, comprando equipos de calidad de energía, georeferenciando sus sistemas eléctricos, capacitando al recurso humano. La Subetapa2 es sancionadora por parte del CONELEC a las Distribuidoras, por lo señalado anteriormente continúa en vigencia la Subetapa 1.

3.3. –Problemas típicos de la Calidad en la Industria.

Entre los problemas típicos atribuibles a la calidad de energía se destacan:

- Operación errática de equipos
- Sobrecalentamiento en transformadores, motores, interruptores, etc.
- Sobrecarga y deterioro del conductor neutro
- Operación no deseada de las protecciones
- Rotura de capacitores

3.4. Perturbaciones eléctricas en el sector Industrial.

El elevado crecimiento de la economía mundial en los últimos años se ha traducido en una extraordinaria expansión de energía, esto implica una alta proliferación de controles y dispositivos electrónicos, electrodomésticos con elementos de estado sólido y cargas no lineales, tales como hornos o soladores de arco, sistemas de tracción eléctrica, motores con control de velocidad, etc. Estos sistemas eléctricos modernos producen perturbaciones en las ondas de tensión y corriente del sistema eléctrico nacional creando un nuevo problema denominados perturbaciones eléctricas.

Clasificación de las perturbaciones electromagnéticas

Las IEEE 1159 de 1995 [8] ha realizado una clasificación para las perturbaciones electromagnéticas según su tiempo de duración, las cuales son las siguientes: Transitorios electromagnéticos, variaciones de tensión, distorsión de onda, fluctuaciones de tensión.

Causas del bajo factor de potencia

Las cargas inductivas como motores, balastos, transformadores, etc, son uno de los orígenes del bajo factor de potencia, el consumo de la corriente se desfasa con relación al voltaje lo que provoca la aparición de potencia reactiva. Otra causa son los desbalances y los armónicos en el sistema eléctrico.

- **Armónicos en ambientes industriales**

Una perturbación armónica es una deformación de onda respecto a la onda senoidal pura, figura 1.

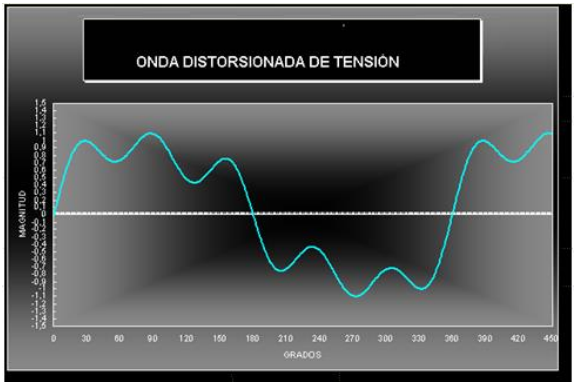


Figura 1. Onda de Tensión Distorsionada debido a la presencia de componentes armónicos.

Los armónicos son tensiones o corrientes de frecuencia múltiplo entero de la frecuencia fundamental de 60 Hz. La principal causa de los armónicos es la presencia de cargas no lineales de origen electrónico.

Los equipos que más generan armónicos en la industria son:

- Rectificadores cargadores trifásicos (convertidores de corriente alterna a corriente continua, combinaciones de diodos y tiristores). Generan armónicos de orden 5, 7, 9, 11, 13,17……

- Variadores de Velocidad (Variadores de frecuencia), equipos utilizados para la regulación de la velocidad.

Efectos de los armónicos, los más usuales son los siguientes:

- Calentamiento en los devanados de motores y transformadores.
- Resonancia cuando se coloca capacitores para mejorar el factor de potencia.
- Vibraciones, las altas frecuencias producen interferencia electromagnética.

3.5. Flicker

Definición del Flicker

El “flicker” se define como el nivel de molestia que percibe un observador medio como consecuencia de la variación de la luminosidad de una lámpara, ocasionado por fluctuaciones de tensión en la red de la distribuidora.
El “flicker” depende fundamentalmente de la profundidad y de la frecuencia de las fluctuaciones de tensión que lo causan, ver figura 2.

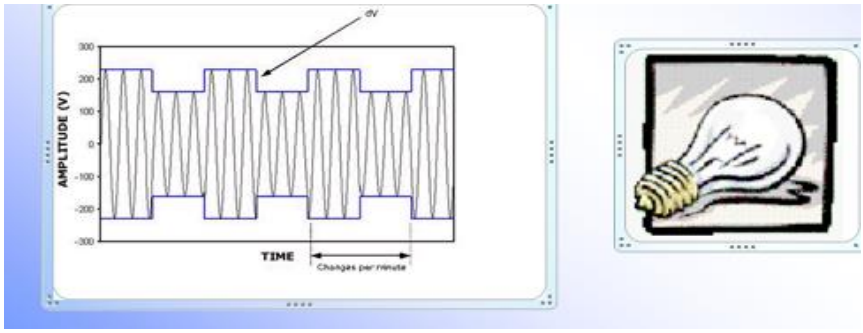


Figura 2. Onda de Tensión Distorsionada debido a la presencia de Flickert

Las fluctuaciones de tensión que provocan flicker generalmente se las puede clasificar en dos grupos:

- Variaciones de tensiones periódicas y rápidas.- son producidas por variaciones sistemáticas de demanda de potencia eléctrica tales como: Hornos de arco, equipos de soladura, etc.

- Variaciones bruscas de tensión.- Las cargas que generan variaciones bruscas de tensión son las siguientes: Motores de inducción, compresores debido a su elevada corriente de arranque.

3.5.1.- Perturbaciones causantes del Flicker.

A continuación se analizará una de las cargas principales productoras de flicker:

- **Motores de Inducción.**

Los motores asíncronos o motores de inducción se construyen para operar a una velocidad constante, con elevado rendimiento y bajo factor de potencia.
Sin embargo presentan un gran problema en el instante de ponerse en marcha, que consiste en el consumo de grandes corrientes que miden de 6 a 10 veces la corriente nominal a plena carga. Además en el arranque de los motores de inducción su par es generalmente de 1,5 a 2 veces el par nominal.

Cuando se producen corrientes de arranque elevadas se tiene el inconveniente de generarse caídas de tensión rápidas afectando a los demás equipos que se conectan al sistema. Esto puede ocasionar principalmente variaciones en el flujo luminoso de las lámparas.
Las caídas de tensión pueden generar flicker y a veces rebasa los límites establecidos por las normalizaciones. En este caso se debe solucionar el problema, principalmente añadiendo dispositivos llamados compensadores de arranque de motores.

3.5.2. Características de Resonancia.

La resonancia se origina cuando una red contiene reactancias capacitivas e inductivas con valores similares a la misma frecuencia.

El peligro que origina la frecuencia de resonancia, suele suceder cuando se conectan bancos de capacitores. Una configuración de la red típica en el cual se ha conectado un banco de capacitores se muestra a continuación [6].

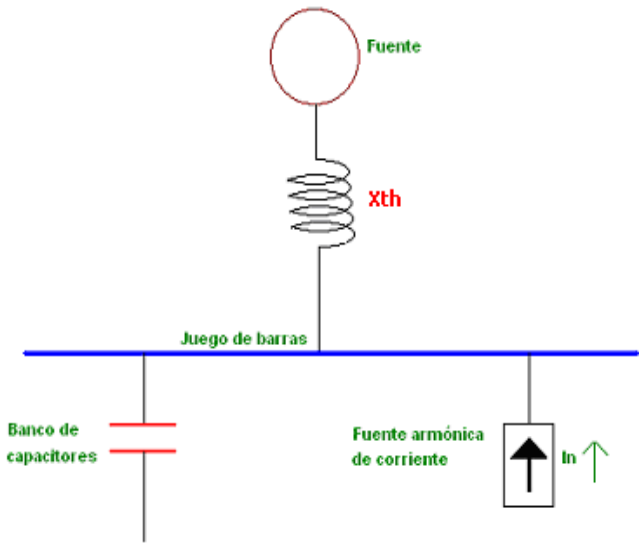


Figura 3. Diagrama unificar básico que produce resonancia en paralelo.

En el punto anterior indicamos que la impedancia de red varía con la frecuencia. El efecto sobre la impedancia ante la presencia de una frecuencia de resonancia, es de que crece hasta un valor máximo. Si nos basamos en la figura anterior, la impedancia de la red aguas abajo del juego de barras es [5]:

$$Z_{eq} = \frac{X_{th} * Xc}{X_{th} + Xc}$$

Podemos observar que el máximo valor de impedancia se obtiene cuando el denominador de la expresión anterior tiende a cero, por lo tanto:

$$X_{th} + Xc = 0$$
$$X_{th} = -Xc$$

De donde estas reactancias están cada una en función de la frecuencia así:

$$X_{th} = W_n * L$$
$$Xc = \frac{1}{W_n * C}$$

Es decir a una misma frecuencia se puede obtener similitud de reactancias y una impedancia de red bastante alta como se muestra en la siguiente figura 4.

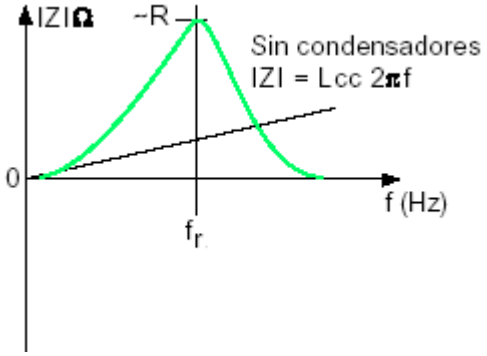


Figura 4. Módulo de la impedancia en función de la frecuencia con fr =frecuencia de resonancia.

Sin compensación Z aumenta linealmente con la frecuencia (circuito inductivo). Con compensación, máximo valor de Z aproximadamente equivale al valor de R que representa parte resistiva de la carga lineal y se alcanza para la frecuencia de resonancia (fr).

- **Control de armónicos**

Si la frecuencia de resonancia coincide con alguna de las frecuencias de las corrientes armónicas inyectadas por las cargas no lineales (Ih), se incrementan la tensión en bornes del capacitor y las corrientes armónicas, con posibles efectos dañinos para la instalación.

Una de las formas de solucionar el problema de la resonancia, consiste en desintonizar el banco de compensación tal que para el armónico de corriente de carga de menor orden la impedancia sea pequeña y evitar tensiones armónicas. Se realiza mediante el agregado de una inductancia en serie con el banco de capacitores, formando una resonancia en serie. La bobina es conocida como inductancia o reactor, en conjunto se llama filtro antiresonante.

- **Efectos en instrumentos de medición.**

Los instrumentos de medición pueden ser perturbados por el desbalance de fase producido por las distorsiones de tensión y corriente, lo cual afecta principalmente los dispositivos que poseen disco de inducción como es el caso de los vatímetros y contadores de energía analógicos y que puede ocasionar lecturas y operaciones erróneas. Los errores de lectura en el que pueden incurrir los instrumentos de medición pueden ser tanto positivos como negativos.

- **Límites aceptables para armónicas.**

La regulación de distribución [9] indica que se tomarán en consideración los armónicos comprendidos entre el segundo y el cuadragésimo.

3.6. Compensación **de la potencia reactiva en sistemas contaminados**

A continuación se indica la trayectoria de los armónicos en un sistema eléctrico **sin compensación**, la corriente contaminada circula desde la carga al sistema, ver figura 5. De ahí la importancia de tomar medidas cuando se pretende compensar la potencia reactiva en sistemas contaminados.

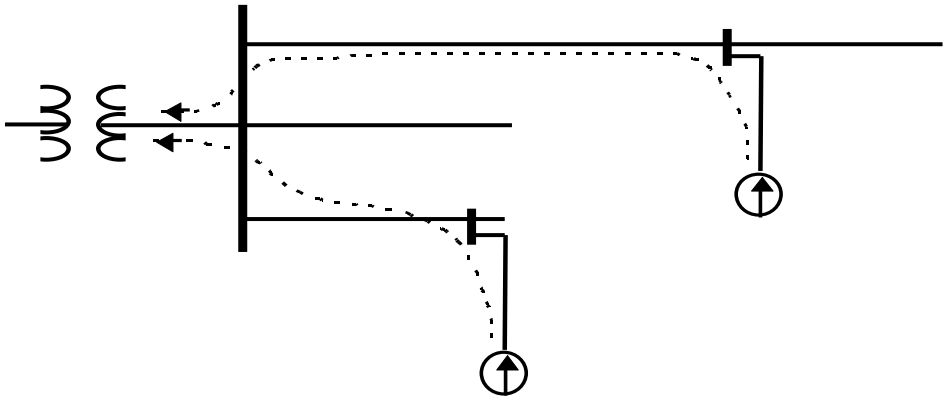


Figura 5. Trayectoria de armónicos en un sistema sin compensación

Sistemas contaminados con compensación, en un sistema compensado la corriente también circula por el condensador y si ocurre resonancia esta corriente es amplificada, ver figura 6.

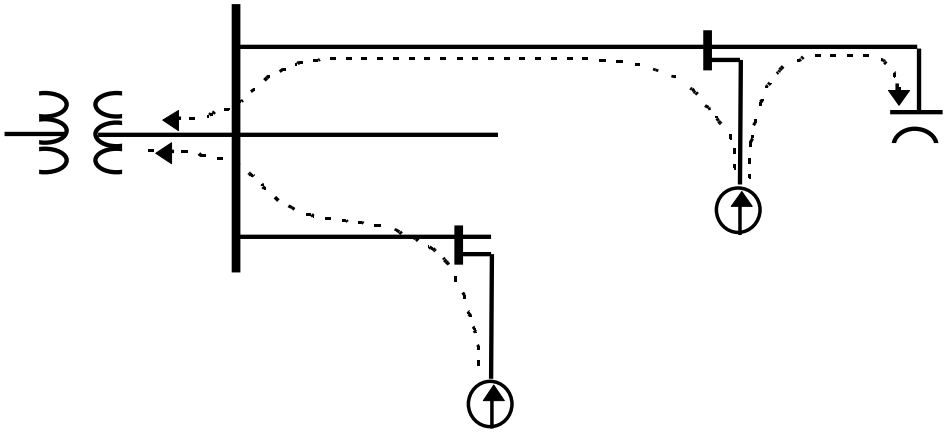


Figura 6. Trayectoria de armónicos en un sistema con compensación

3.7. Instalación de banco de capacitores en una planta

Existen varias formas de instalar capacitores en una planta, y se indica a continuación.

- Compensación individual en motores
- Compensación por grupo de carga
- Compensación centralizada

El banco de capacitores puede ser instalado en varios puntos de la red de distribución en una planta y puede distinguirse tres maneras de instalación de capacitores para compensar la potencia reactiva figura 7. Cada una corresponde a una aplicación diferente. Antes de la instalación se debe tomar en cuenta: tipos de carga, distribución de la misma, potencia, etc.

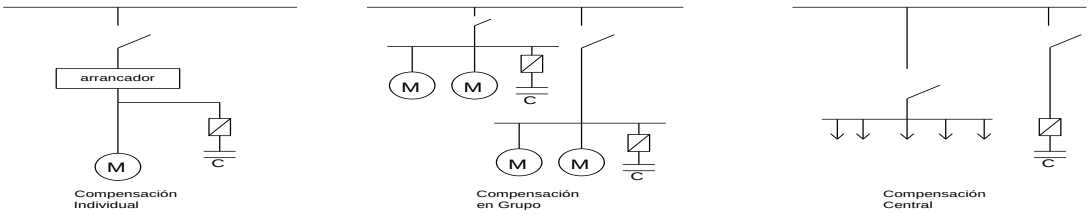


Figura7. Instalación de banco de capacitores en una planta

Compensación individual

Es el método más efectivo ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, presenta las siguientes.

Ventajas:

- Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red.
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, no es necesario controles complementarios.
- Los capacitores son puestos en servicio solo cuando el motor está trabajando

Desventajas:

- El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual.
- Existe subutilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia.

Compensación en grupo

Se utiliza cuando se tiene un grupo de cargas inductivas de igual potencia y que operan simultáneamente

Ventajas:

- La compensación se hace por medio de un banco de capacitores en común con su propio interruptor.
- El banco de capacitores se utilizan únicamente cuando las cargas están en uso.

Desventaja:

- La sobrecarga de potencia reactiva no se reduce en las líneas de alimentación principal, es decir, seguirá circulando energía reactiva entre el centro de control de motores y los motores.

Compensación central con banco automático

El banco de capacitores se instala en la acometida de la instalación, cerca o en tablero de distribución. La compensación centralizada presenta las siguientes.

Ventajas:

- Mejor utilización de la capacidad de los bancos de capacitores.
- Se tiene una mejora en la regulación del voltaje en sistemas eléctricos.
- Es de fácil supervisión.

Desventaja:

- Se requiere de un regulador automático del banco para compensar según las necesidades.
- La sobrecarga no se reduce en la fuente principal ni en las líneas de distribución.

Compensación de Transformadores de distribución

Los transformadores son uno de los elementos que están continuamente en servicio.

Por su propio diseño, los transformadores requieren energía reactiva para la magnetización de su núcleo. La energía reactiva requerida por un transformador es entre 1 a un 12 % de la potencia nominal del transformador.

3.8. Fórmulas de circuitos no lineales en condiciones no sinusoidales [11].

- Valor Eficaz de corriente

$$\overline{I}_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2\,dt} = \sqrt{\sum_{h=1}^{N} I_h^2}$$

- Potencia activa

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T e(t)\cdot i(t)\cdot dt = \sum_{h=1}^{N} \overline{E}_h \cdot \overline{I_h} \cdot \cos(\phi_h)$$

- Potencia reactiva

$$Q = \overline{E_1} \cdot \overline{I_1} \cdot \sin(\phi_1)$$

- Potencia de distorsión

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

- Potencia Aparente

$$S = \sqrt{\sum_{h=1}^{N} (E_n)^2 \sum_{h=1}^{N} (I_h)^2} = E_{RMS} \cdot I_{RMS}$$

- Factor de Potencia

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{\sum_{h=1}^{N} \overline{E}_h \cdot \overline{I}_h \cos(\phi)}{\sqrt{\sum_{h=1}^{N} E_h^2}\sqrt{\sum_{h=1}^{N} I_h^2}}$$

4.- MATERIALES Y METODOS

4.1.- Equipos de medición.

Para el presente estudio se utilizará el siguiente equipo:

Cantidad	Descripción
1	Analizador de calidad Topas 1000
1	Analizador de calidad Fluke 1744
1	Medidor analógico trifásico
1	Pinza amperimétrica tipo gancho True – Rms, Fluke 336.
1 juego	Equipo de seguridad.
1	GPS

Una imagen de los registradores de calidad de energía que se utilizará en éste estudio se muestra en: ANEXO 2

- **Equipo Analizador de energía: Marca Fluke 1744.**

Este registrador permite realizar mediciones de diferentes parámetros eléctricos. En nuestro caso se programa cada 10 minutos durante un periodo de 7 días consecutivos, dando un total de 1008 registros. Los valores medidos se guardan como valores promediados a lo largo de los periodos seleccionados por el usuario.

Parámetros y funciones de registro del Fluke 1744.

- Tensión eficaz de cada fase (media, mínima, máxima).
- Corriente eficaz de cada fase y neutro (media, mínima, máxima).
- Eventos de tensión (caídas, subidas, interrupciones)
- Potencia (KW,KVA,KVAR, factor de potencia FP, tangente de potencia)
- Energía total
- Flicker(Pst, Plt)
- THD de tensión
- THD de corriente
- Armónicas de tensión y corriente hasta el 50 orden (función A)
- Ínter armónicas de tensión
- Frecuencia
- Desequilibrio: positivo, negativo y cero.

4.2.- Métodos de Investigación.

La adecuada y correcta utilización de métodos, procedimientos, conceptos, variables contribuyen a la solución del problema de investigación.

El método de la observación científica, servirá para realizar observaciones en el campo personalmente, para escribir las percepciones del personal que labora en planta, con la finalidad de establecer una tendencia y desarrollo de los fenómenos.

Se aplicará el **método de la medición**, con la finalidad de tener valores numéricos para poder evaluar y representar adecuadamente el comportamiento. Se instalará el analizador de carga en el tablero general principal a nivel de tensión fase-neutro 254 V. durante 7 días consecutivos, antes de la compensación y después de la compensación de la potencia reactiva.

4.2.1- Método de la compensación a partir de datos de un registrador de carga [3].

El analizador de red permite obtener un perfil de la potencia reactiva consumida durante siete días consecutivos figura 8. ¿Cuál es la potencia del banco de capacitores necesaria para compensar, con un determinado factor de potencia inicial? Para ello es preciso conocer los datos de la instalación que se indican a continuación:

- Potencia activa consumida.
- Factor de potencia inicial de la planta antes de compensación.
- Factor de potencia de la planta después de la compensación.

Tenemos tres procedimientos para obtener la potencia de compensación (Qc).

Procedimiento I:

Con los registros de **demanda promedio** de la figura 8, obtengo la potencia de compensación máxima Qc = 75 kVAR, Pmáxima = 65 kW.

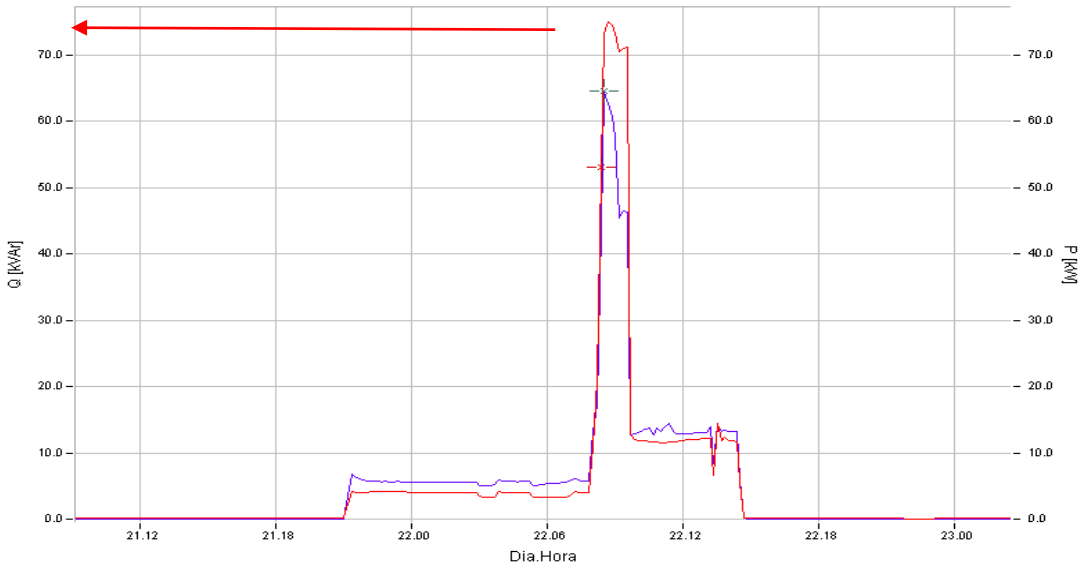


Figura 8. Registros de Demanda Promedio de Potencia Recativa y Activa. Procedimiento I

Procedimiento II:

Con los registros de **demanda máxima** de la potencia reactiva, dato que se obtiene del propio analizador de carga, debemos conocer simultáneamente la potencia activa. De la Figura 9 se toma el valor de Qmax (valor en punta), no obstante son valores en tiempos cortos, puede preverse una potencia de compensación con valores menores (50% – 60 % de Qmax) por ejemplo el 50 %, así: Qc = Qmax * 50 %.

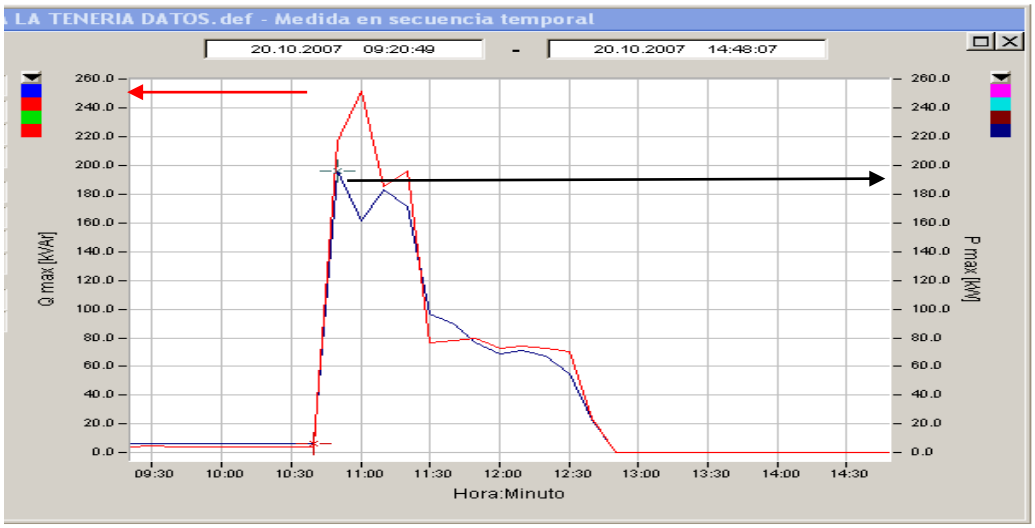


Figura 9. Registros de Demanda Máxima de Potencia Recativa y Activa. Procedimiento II

Procedimiento III.

Cálculo de compensación a partir de la potencia activa y los factores de potencia inicial y final. De la figura 10 se toma la potencia activa un valor (entre 50 % - 60 % de P.max), ejemplo.

Datos iníciales:

$$\begin{cases} \cos\beta 1 = 0{,}65 \\ \cos\beta 2 = 0{,}94 \\ P = Pmax * 50\% = (160 * 0{,}5) = 80 \text{ kW} \end{cases}$$

Valor deseado de potencia a compensar puede calcularse por la ecuación (1).

Qc = Px (tanβ1-tanβ2) (1)

El termino (tanβ1-tanβ2) suele darse en forma de tabla con doble entrada como lo muestra la Tabla 2 a continuación. Los números de la tabla dan los kVAR necesarios por cada kW, para compensar una instalación desde el cosβ1 inicial al final.

Cos β1	Cos β2					
	0,9	0,92	0,94	0,96	0,98	1
0,95				0,04	0,13	0,33
0,90	0,0	0,06	0,12	0,19	0,28	0,48
0,85	0,14	0,19	0,26	0,33	0,42	0,62
0,8	0,27	0,32	0,39	0,46	0,55	0,75
0,75	0,40	0,46	0,52	0,59	0,68	0,88
0,7	0,54	0,59	0,66	0,73	0,82	1,02
0,65	0,68	0,74	0,81	0,88	0,97	1,17
0,6	0,85	0,91	0,97	1,04	1,13	1,33
0,55	1,03	1,09	1,16	1,23	1,32	1,52
0,5	1,25	1,31	1,37	1,44	1,53	1,73
0,45	1,50	1,56	1,62	1,69	1,78	1,98
0,4	1,81	1,87	1,93	2,00	2,09	2,29
0,35	2,19	2,25	2,31	2,38	2,47	2,68

Tabla 2. Valores de (tanβ1-tanβ2) conocidos Cosβ1 y Cosβ2

Con los datos iníciales conocidos de cosβ1=0,65, meta de cosβ2 =0,94 y P =80 kW, obtenemos el factor (0,81), Ejemplo Qc=80 kW *0,81 = 65 kVAR

Número de escalones (Ne): Se Considera lo siguiente: Todos los escalones a partir del segundo tienen doble potencia que el primero.

Ejemplo si el banco es de 15 kVAR y 2 escalones, el primer escalón es de 5 kVAR entonces el segundo es de 10 kVAR.

Se debe anotar que la potencia del escalón menor de regulación Pt, y el número de escalones, Ne, están relacionados por la relación:

Pt =Ptot/ (2Ne-1)……. (2)

Datos:
Ptot = potencia total del banco
Ne= número de escalones
(2Ne-1) = relación

Número de pasos (Np)

El término número de pasos significa el número de valores intermedios en que esta fraccionada la potencia. El número de pasos se obtiene así.
Np = Ptot/Pt

Elección del número de pasos

Al aumentar excesivamente el número de pasos puede por el contrario generar inconvenientes, en nuestro caso.
Np = número de pasos.

Al aumentar excesivamente el número de pasos puede por el contrario generar inconvenientes por el elevado número de maniobras que debe efectuar el banco de compensación, esto provoca el envejecimiento de los contactores.

- **Metodología**

La metodología a emplear es.

- Caracterización de la carga. Se levantó la información de los circuitos de media y baja tensión: 13800/440V, cuadro de carga de motores eléctricos.
- Levantar los datos históricos de consumo de agua, electricidad, etc. de la planta en un periodo 2007-2009.
- Registro de mediciones. Se instaló el equipo de calidad en el tablero general principal (TGP) de baja tensión, durante siete días consecutivos programados cada 10 minutos.

Se debe manifestar que toda la instalación a partir del TGP es subterránea y herméticamente sellada para evitar el ingreso de polvo, esto dificulta las mediciones a nivel de motor eléctrico.

4.3.- Caracterización de la Instalación Eléctrica de la Planta.

Se realizó un levantamiento de planimetría de las instalaciones eléctricas de media, baja tensión y diagrama de motores eléctricos. Se detalla en el ANEXO 3 y 3.1 indicando calibre, distancias, tipo de estructura, etc.

4.3.1.- Diagnóstico de recorrido

En los recorridos del Sistema de Distribución de Energía Eléctrica de la Planta, señalamos lo siguiente:

- No hay planos eléctricos ni de baja y media tensión que facilite realizar un estudio de calidad de energía.
- Capacidad de la cabina del transformador 300 KVA, 13200 /440 V.
- Caracterización de la carga. Ver Anexo Diagramas unifilar de motores.

- La Planta posee 21 motores con una carga instalada de 204,75 HP = (152,74 KW). (Tabla 3).
- De lo anterior, cuatro motores poseen control de velocidad, con una potencia de 11 HP= (8,206KW).
- Bajo factor de potencia de la Planta 0,60 en carga mínima.
- Falta de equipos de seguridad industrial al personal.
- Falta de un estudio ambiental.
- Sistema de comunicación vía radio en mal estado, utilizan el celular particular.
- Cuando llueve existe mayor consumo de Diésel, pero no hay producción. Esta situación se produce debido que hay que mantener el material a cierta temperatura, caso contrario se endurece el producto.
- La cantidad de personal que labora en planta es de siete personas.

Sistema de distribución de agua

El abastecimiento de agua a la planta es mediante tanquero durante dos veces a la semana:

- Un tanque de 1040 galones que sirve para necesidades del personal.
- Un tanque de 4000 galones que sirve para el proceso de producción.

4.3.2.- Diagrama Unifilar de la carga

A continuación se indicará el diagrama unifilar del sistema eléctrico de la planta ANEXO 1.1

4.3.3.- Cuadro de carga de Motores de Inducción.

En la siguiente Tabla 3 los motores eléctricos son trifásicos y de inducción, funcionan a 440 Voltios entre fases. El motor de mayor potencia es el extractor de 40 HP y el de menor potencia es el vibrador de 0,25 HP. Cuatro motores tienen control de velocidad y corresponden a: tres de correa individual y uno a la bomba de asfalto.

ITEMS	Motores	Cantidad	Potencia (HP)	TOTAL (HP)	In de c/mot (A)	Polos	FP	Control Velocid.
1	SECADOR	4	10.00	40.00	13.3	4	0.83	
2	COMPRESOR	1	15.00	15.00	19.7	4	0.83	
3	ESTRACTOR	1	40.00	40.00	50.5	4	0.85	
4	VENTILADOR QUEMADOR PRICIPAL	1	25.00	25.00	30.8	2	0.88	
5	MEZCLADOR	2	20.00	40.00	27	4	0.83	
6	ELEVADOR	1	15.00	15.00	19	4	0.85	
7	CORREA TRANSPORTADORA	1	5.00	5.00	4.95	4	0.85	
8	CORREA INDIVIDUAL	3	2.00	6.00	1.98	4	0.99	CV
9	CARACOL INCLINADO	1	1.50	1.50	2.5	4	0.77	
10	BOMBA DE COMBUSTIBLE	1	1.50	1.50	2.75	4	0.7	
11	BOMBA DE ASFALTO	1	5.00	5.00	7.7	4	0.75	CV
12	VIBRADOR	1	0.25	0.25	0.6	4	0.8	
13	CARACOL HORIZONTAL	1	1.50	1.50	2.5	4	0.77	
14	BOMBA DE ACEITE TERMICO	1	7.50	7.50	2.5	4	0.87	
15	QUEMADOR ACEITE TERMICO	1	1.50	1.50	0.6	6	0.77	
						Minimo	0.70	
	TOTAL	21		204.75		Prome	0.82	
			KW	152.74		Max	0.99	

Tabla 3. Cuadro de carga de motores de inducción, a nivel de tensión 440 V.

Fuente. I. M. de Loja

4.4. Mediciones de parámetros eléctricos sin compensación de reactivos.

Se iniciará con mediciones de diferentes parámetros eléctricos durante siete días consecutivos y programados cada diez minutos, se instalará el equipo Fluke 1744 en el Tablero de distribución General (TDG), a un nivel de Fase-Neutro = 254 V. Ver la siguiente figura 10.

Figura 10. Lugar instalación del equipo de calidad de energía en el TDG.

Mediciones efectuadas en el **segundo semestre de 2008.**

Medición de la tensión total

Medida en secuencia temporal

Date: **10.06.2010**

Traducción **TOPAS Software 4.0.5.6 20060327**

File: **teneria1.def**

Periodo: **06.08.2008 18:30:00 - 13.08.2008 22:10:00**

Interval: **10 min 0 s**

Cantidad medida	**Unit**	**L1 / L12**	**L2 / L23**	**L3 / L31**	**L1L2L3**	**N**
Urms	[V]	*****	*****	*****		

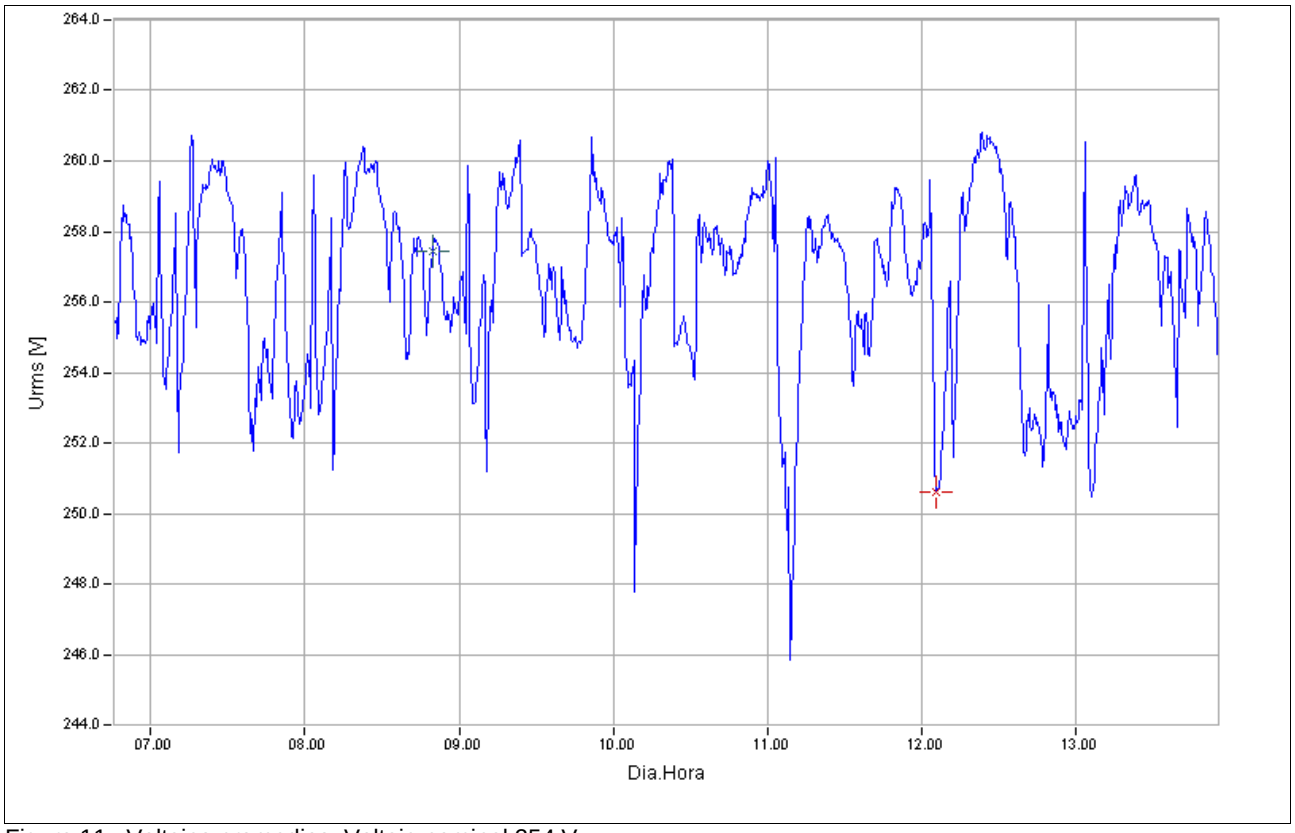


Figura 11. Voltajes promedios, Voltaje nominal 254 V.

De la gráfica podemos decir que: las variaciones de tensión se deben a los cambios de operación de los motores, por ejemplo entre las 11h15'a 11h16' cae a un valor de 245 V., pero es en un tiempo corto.

Medición del factor de potencia total

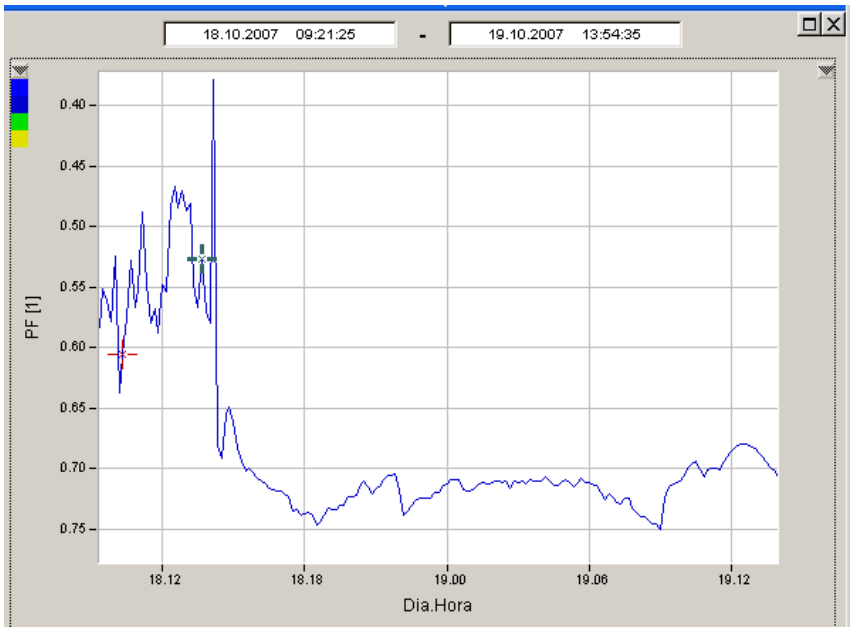


Figura 12. Factor de potencia total.

De la gráfica podemos decir que: El factor de potencia de la Planta es bajo en especial, entre 18h14' a 18h15' el factor es 0,4. Luego de la 18h15'se eleva ligeramente a valores superiores a 0,7, pero todavía es bajo. El límite permitido es 0,92.

Medición del Flicker total de corta duración: Pst

Medida en secuencia temporal

Date:	**10.06.2010**
Traducción	**TOPAS Software 4.0.5.6 20060327**
File:	**teneria1.def**
Periodo:	**06.08.2008 18:30:00 - 13.08.2008 22:10:00**
Interval:	**10 min 0 s**

Cantidad medida	**Unit**	**L1 / L12**	**L2 / L23**	**L3 / L31**	**L1L2L3**	**N**
Pst	[1]	*****	*****	*****		

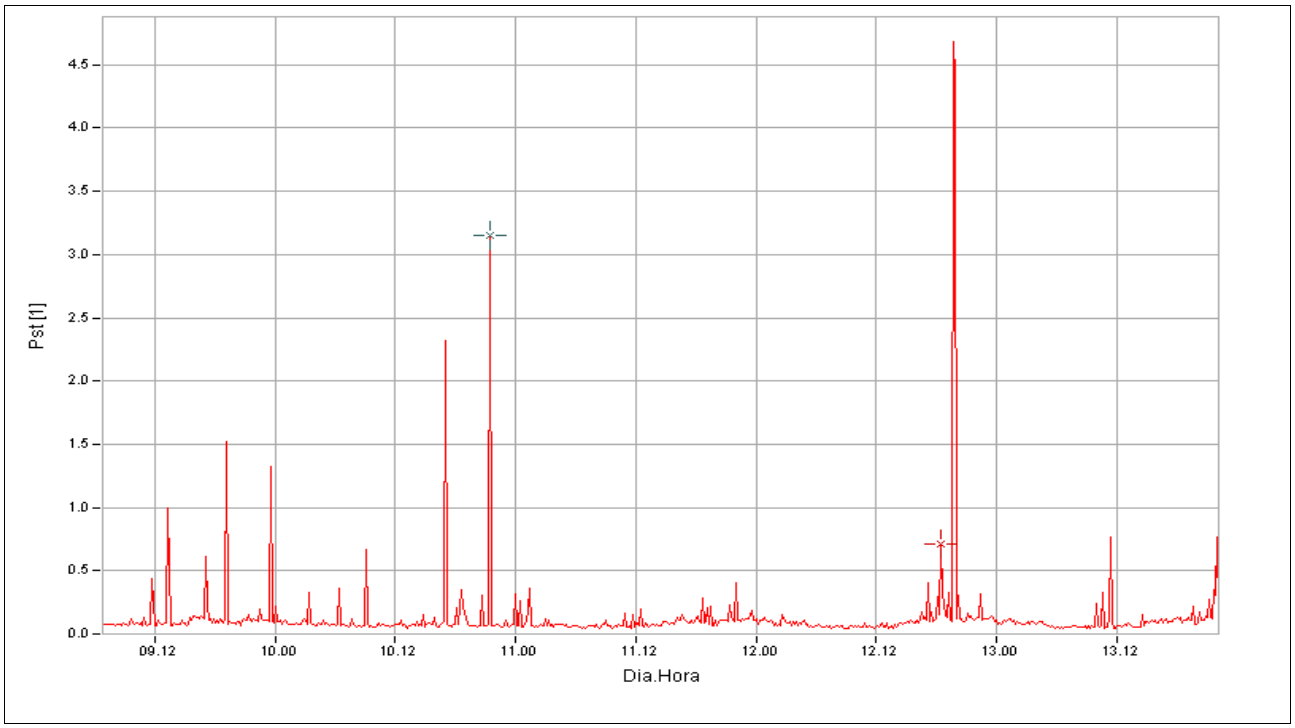


Figura 13. Flicker de corta duración.

De la gráfica podemos decir que: El Flicker es alto 4,5 p.u., entre 12h30' a 12h35, el límite permitido es 1 p.u. La causa se debe a la operación de los motores eléctricos.

Medidor de energía analógico.

Con el objeto de medir la energía activa generada por los armónicos se procederá así:

Medidor actual instalado en planta es electrónico A1R+, medidor de prueba analógico se instalará en serie con el electrónico durante 81 días. La lectura del medidor analógico se multiplicará por la relación de 350. Ver ANEXO 4.

5.- RESULTADOS

Con los registros iníciales de los diferentes parámetros eléctricos tomados con el equipo de calidad de energía, utilizaremos los siguientes Software para realizar simulaciones antes y después de la compensación.

5.1.- Simulación de flujos de carga

Se utilizará un Demo del Software Easy Power, es propicio para análisis de un sistema industrial, se inicia con el ingreso de la potencia de cortocircuito en el punto de acoplamiento en media tensión entre la planta del I. M. de Loja y la EERS.S.A para máxima y mínima generación. Los datos de corto circuito se obtiene del programa Spard mp Distribución que posee la EERS.S.A. en la barra de media tensión de 13.8 kV.

El objeto de la simulación es obtener el perfil de voltaje fundamentalmente en la barra de carga antes de la compensación y luego de la compensación. En base al cuadro de carga, se tiene una carga instalada lineal (170 HP) y una carga no lineal (11HP). El modelo está concebido para condición máxima y mínima de carga, sin embargo en la realidad la carga es dinámica.

La carga **se modela** con los datos de demanda máxima que se obtuvo de los registros del analizador de carga, teniendo en cuenta la carga de los cuatro motores con control de velocidad.

En los reportes de flujo de carga, fundamentalmente se tomará en cuenta el nivel de voltaje en la barra de carga a 440 V. Ver **Anexo 5 Flujos de carga**.

Sin compensación: En carga máxima, el nivel de tensión en la barra de carga es 0,994 p.u, es decir existe una variación de menos 0,6 %.

Con compensación: En carga máxima, el nivel de tensión en la barra de carga es 1,004 p.u, es decir existe una variación de más 0,45 %.

5.2. Simulación de Resonancia

Para el analices de los armónicos se simulará con el Software de Harmonic Analysis V.8. Las redes eléctricas pueden ser representadas por elementos pasivos que no contienen fuentes de tensión. Se Justifica desde el punto de vista de modelar la red a través de impedancias o admitancias donde la única fuente del sistema es aquella que representa a las cargas perturbadoras.

Datos de ingreso. El modelo toma los datos de potencia de cortocircuito en media tensión 13,8 kV. en condiciones de cortocircuito de máxima (27, 53 MVA) y mínima (25,77 MVA) generación. Con una demanda de 65 kW valor medido con el fluke 1744, se procederá a diferentes simulaciones variando la capacidad del banco de capacitores.

Resultados. Se obtiene diferentes valores de frecuencia de resonancia e impedancia (Ohm), con lo cual se determina la armónica correspondiente.

Adicionalmente obtenemos diferentes valores de inductancia (mili henrios) para colocar en serie con el banco de capacitores y obtener un filtro antiresonante. Tabla 4 y 5

Carga Máxima.

Modelo: Red (27,53 MVA, R/X=0,1), barra en media tensión 13,8 kV (B1), transformador (300 kVA), barra de carga en baja tensión 0,44 kV (B2), carga M (demanda promedio 65 kW), banco de capacitores (5,…,15 kVAR…, etc), carga no lineal (conversor).

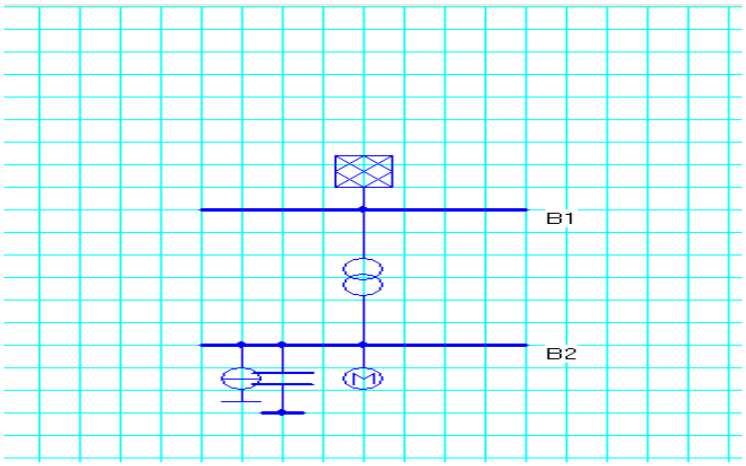


Figura 14. Modelo de carga, para simulación.

Qc= 5 KVAR

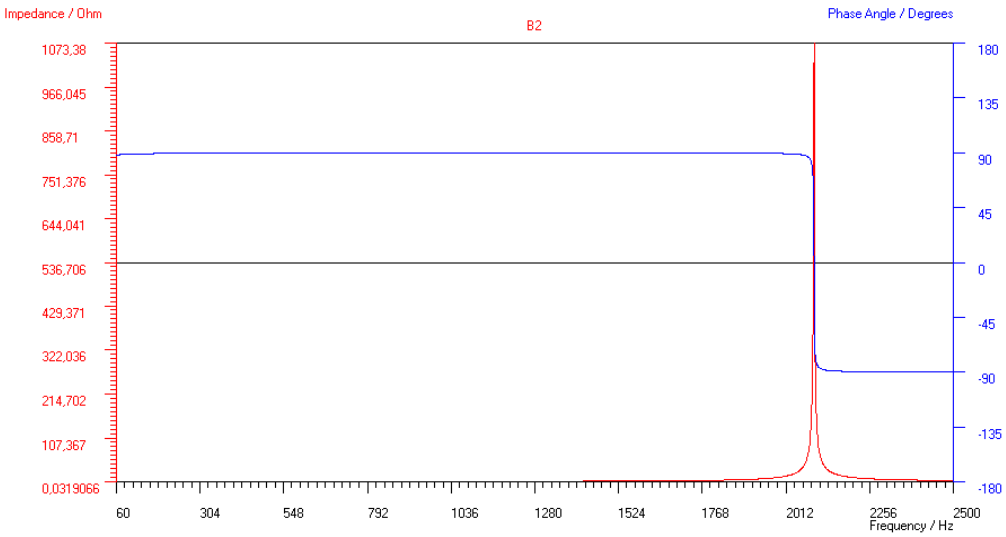


Figura 15. Frecuencia de Resonancia

Para la compensación de 5 kVAR, se observa valores de: impedancia Z=1.073,38 Ohm, frecuencia de resonancia Fo=2.085,2 HZ, y armónica h=Fo/F =35 armónica.

Qc=35 KVAR

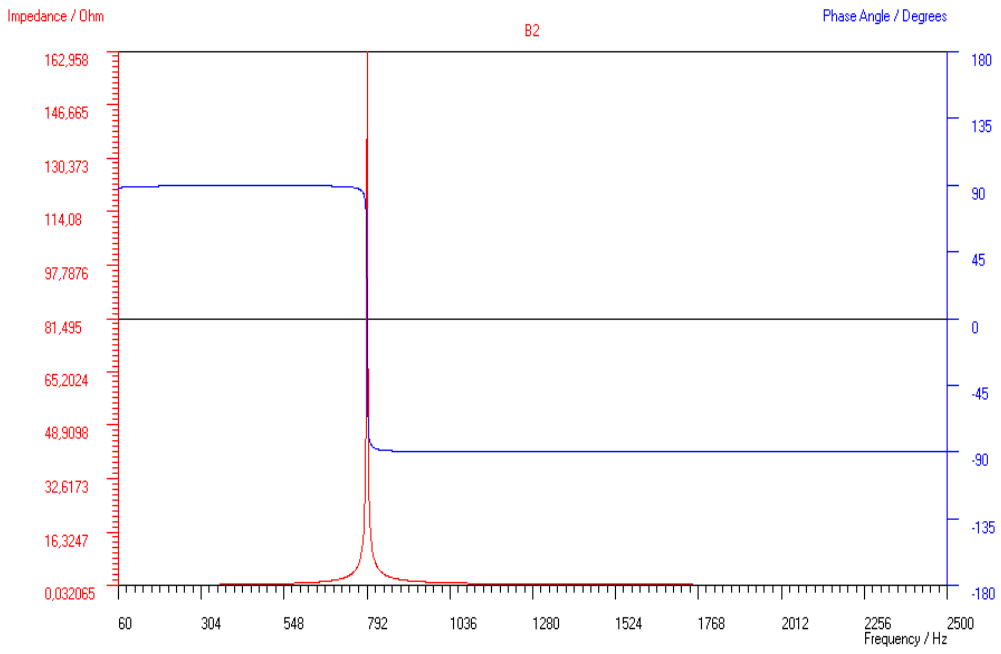


Figura 16. Frecuencia de Resonancia

Para la compensación de 35 kVAR, se observa valores de: impedancia Z=162,96 Ohm, frecuencia de resonancia Fo=792 Hz, y armónica h=Fo/F =13.

Para este valor de compensación, el software reporte una posible resonancia en el armónico 13, se debe aclarar que es una simulación.

Qc=75 kVAR

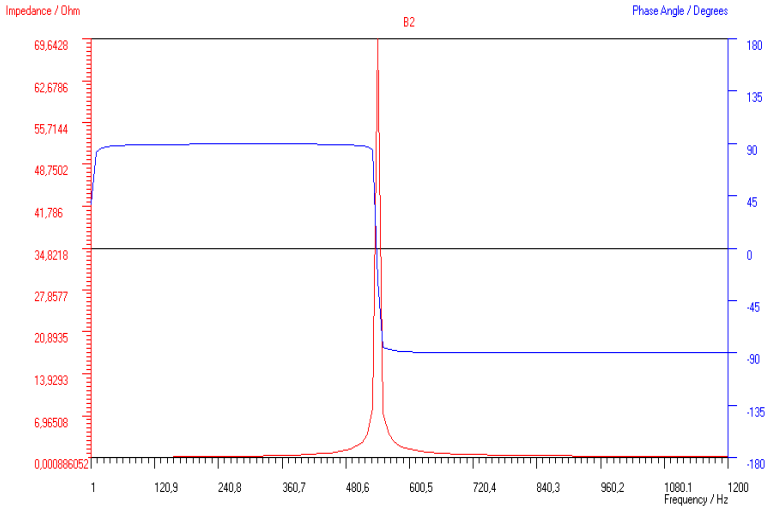


Figura 17. Frecuencia de Resonancia

Para la compensación de 75 kVAR, se observa valores de: impedancia de: Z=69,64 Ohm, frecuencia de resonancia Fo=548 Hz, y armónica h=Fo/F =9 armónica.

Carga Mínima.

Modelo: Red (25,77 MVA, R/X=0,1), barra en media tensión 13,8 kV (B1), transformador (300 kVA), barra de carga en baja tensión 0,44 kV (B2), carga M (demanda promedio 65 kW), banco de capacitores (5,..., 15 kVAR, etc), carga no lineal (conversor).

Qc = 5 KVAR

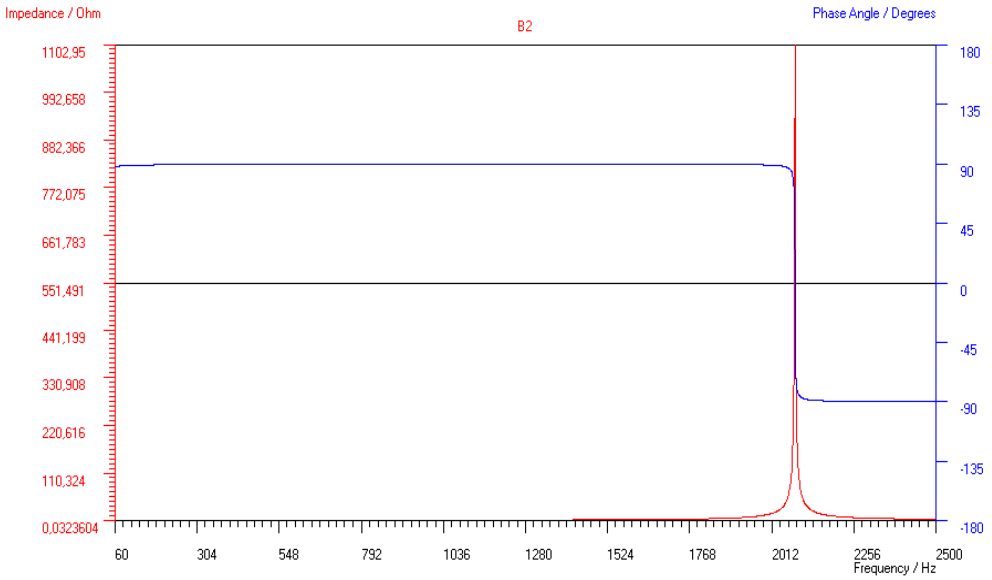


Figura 18. Frecuencia de Resonancia

Para la compensación de 5 kVAR, se observa valores de: impedancia Z=1.102,95 Ohm, frecuencia de resonancia Fo=2.085,2 Hz, y armónica h=Fo/F =35 armónica.

Qc = 35 KVAR

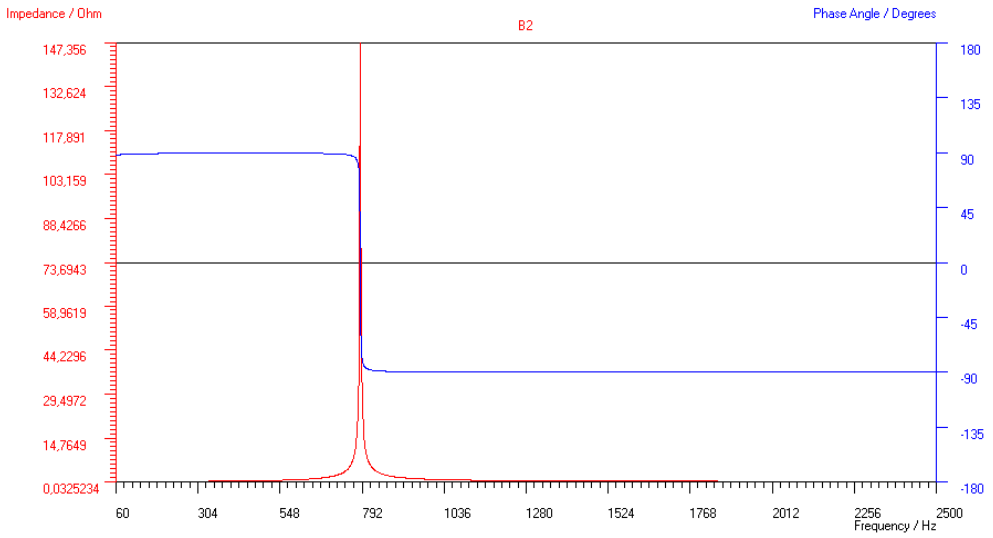


Figura 19. Frecuencia de Resonancia

Para la compensación de 35 kVAR, se observa valores de: impedancia Z=147,36 Ohm, frecuencia de resonancia Fo=792 Hz y armónica h=Fo/F =13 armónica.

Qc=75 kVAR

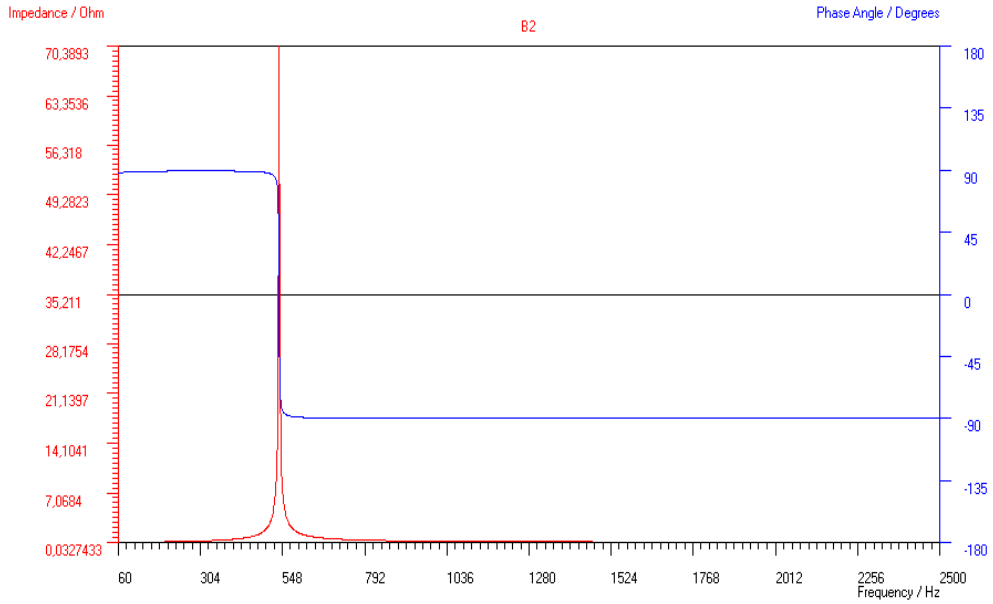


Figura 20. Frecuencia de Resonancia

Para la compensación de 75 kVAR, se observa valores de: impedancia Z=70,39 Ohm, frecuencia de resonancia Fo=548 Hz, y armónica h=Fo/F =9 armónica.

- **Resultados de Frecuencia Resonancia**

En las siguientes Tabla 4 y Tabla 5, podemos observar que para cada valor de compensación (kVAR) tenemos diferentes valores de frecuencia de resonancia e impedancia. Para evitar la resonancia con cada valor de compensación se tiene dimensionado una inductancia (L), para máxima y mínima generación.

Máxima generación: punto de acoplamiento Scc =27,53 MVA, X/R =10; datos de la S/E Norte: 5 MVA, V=13,8 kV.

Compensación (kVAR)	Frecuencia de resonancia (Hz)	Impedancia absoluta (ohm)	Reactancia capacitiva Xc (Ohms)	Capacitancia (uF)	Corriente (A)	Inductancia L(milihenrios)
5	2085,20	1073,38	38,72	68,51	11,36	2,9516
15	1206,80	383,22	12,91	205,52	34,09	1,7000
25	938,40	222,11	7,74	342,53	56,82	1,3117
35	792,00	162,96	5,53	479,55	79,55	1,1101
45	694,40	118,48	4,30	616,56	102,27	0,9848
55	621,20	104,04	3,52	753,57	125,00	0,9007
65	572,40	85,73	2,98	890,59	147,73	0,8271
75	548,00	69,64	2,58	1027,60	170,45	0,7487

Tabla 4. Resultados de frecuencia de resonancia. Máxima generación

Mínima generación: punto de acoplamiento Scc =25,77 MVA, X/R =10; datos de la S/E Norte: 5 MVA, V=13,2 kV.

Compensación (kVAR)	Frecuencia de resonancia (Hz)	Impedancia absoluta (ohm)	Reactancia capacitiva Xc (Ohms)	Capacitancia (uF)	Corriente (A)	Inductancia L(milihenrios)
5	2085,20	1102,95	38,72	68,51	11,36	2,9553
15	1206,80	339,05	12,91	205,52	34,09	1,7022
25	938,40	213,87	7,74	342,53	56,82	1,3134
35	792,00	147,36	5,53	479,55	79,55	1,1116
45	694,40	118,55	4,30	616,56	102,27	0,9861
55	621,20	91,63	3,52	753,57	125,00	0,9018
65	572,40	83,87	2,98	890,59	147,73	0,8282
75	548,00	70,39	2,58	1027,60	170,45	0,7497

Tabla 5. Resultados de frecuencia de resonancia. Mínima generación

5.3.- Selección del capacitor a partir de datos de un registrador de carga [3].

Explicaremos tres procedimientos para obtener la potencia del banco de capacitores (Qc).

Procedimiento I: Con los registros de **demanda promedio** de la figura 21, obtengo la potencia de compensación máxima Qc = 75 kVAR, Pmax = 65 kW.

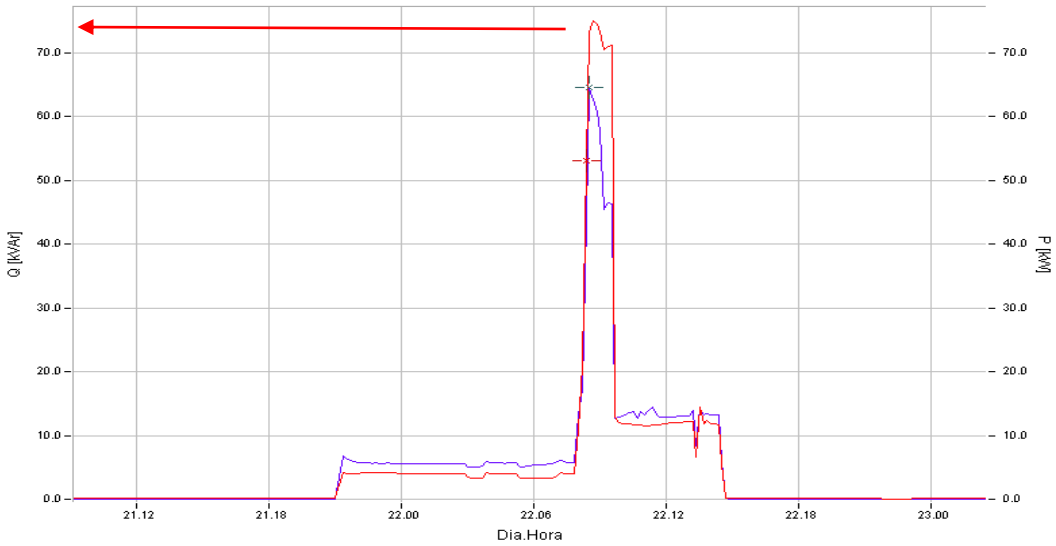


Figura 21. Registros de Demanda Promedio de Potencia Recativa y Activa. Procedimiento I

Procedimiento II: Con los registros de **demanda máxima** de la potencia reactiva, dato que se obtiene del propio analizador de carga, debemos conocer simultáneamente la potencia activa. Valor en nuestro caso es 230 KVAR (valor en punta), no obstante son valores en tiempos cortos, puede preverse una potencia de compensación con valores menores en nuestro caso tomamos en un 50 %, así: Qc = Qmax * 50 % = 230 * 50 % = 115 kVAR. figura 22.

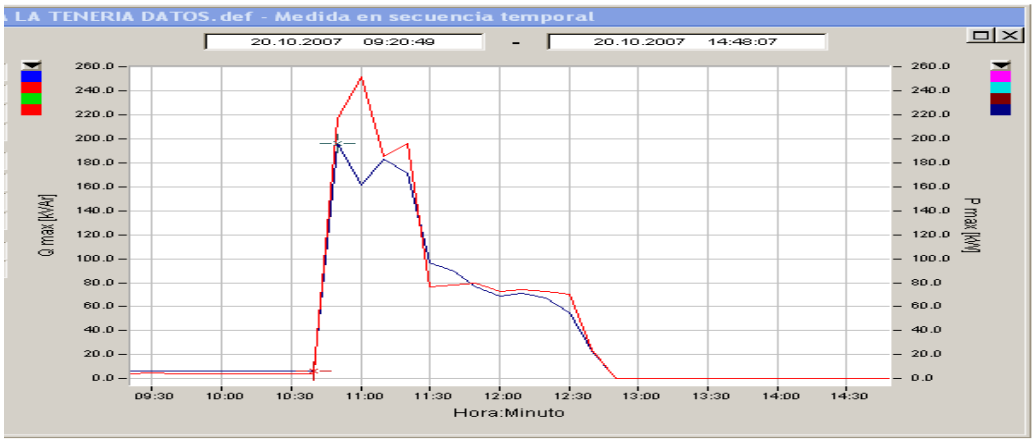


Figura 22. Registros de Demanda Máxima de Potencia Recativa y Activa. Procedimiento II.

Procedimiento III. Cálculo de compensación a partir de la potencia activa y los factores de potencia inicial y final. La Potencia activa tomamos un valor (entre 60 % - 70 % de Pmax) de la demanda máxima.

Datos

$$\begin{cases} \cos\beta 1 = 0{,}65 \\ \cos\beta 2 = 0{,}95 \\ P = Pmáx * 64\ \% = 170 * 64\ \% = 108{,}80 kW \end{cases}$$

Valor de potencia a compensar puede calcularse por la ecuación (1).

Qc = Px (tanβ1-tanβ2) (1)

(tanβ1-tanβ2) = 0,655

Qc = 108,80 * 0,635 = 75 kVAR

El termino (tanβ1-tanβ2) suele darse en forma de tabla con doble entrada como lo muestra la Tabla 1.

Número de escalones (Ne): Se Considera lo siguiente: Todos los escalones a partir del segundo tienen doble potencia que el primero.

El banco es de 75 kVAR y 8 escalones estarían formando por un primer escalón de 5 kVAR y 7 escalones iguales de 10 kVAR.

Se debe anotar que la potencia del escalón menor de regulación Pt, y el número de escalones, Ne, están relacionados por la relación:

Pt =Ptot/ (2Ne-1)……. (2)

Datos:

Ptot = (75kVAR)

Ne= 8 escalones

(2Ne-1) = 15

Pt=75/(15)=5 kVAR

Número de pasos (Np)

El termino número de pasos significa el número de valores intermedios en que esta fraccionada la potencia. El número de pasos se obtiene así.

Np = Ptot/Pt

Np= 75kvAR/5 kVAR = 15

Elección del número de pasos

Al aumentar excesivamente el número de pasos puede por el contrario generar inconvenientes, en nuestro caso.

Np = 8 pasos.

5.4.- Resultados Prácticos

Una vez dimensionado el banco de capacitores de 75 kVAR, con 8 pasos, un fijo de 5 kVAR y 7 de 10 kVAR en forma automática, presentamos los siguientes resultados

Resultados del factor de Potencia: 28 de 0ctubre de 2009.

PERFIL DE CARGA FACTOR DE POTENCIA					
HORA					FP Promedio
0:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
7:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
8:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
9:15	1.000	0.963	0.978	0.984	0.979
10:15	0.984	0.980	0.979	0.991	0.982
11:15	1.000	1.000	1.000	0.997	0.999
12:15	0.996	0.996	0.995	0.995	0.996
13:15	0.995	0.995	0.999	1.000	0.997
14:15	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000
15:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
16:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
17:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
18:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
19:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
20:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
21:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
22:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
23:15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
FP Promedio diario					0.99

Tabla 6. Factor de potencia

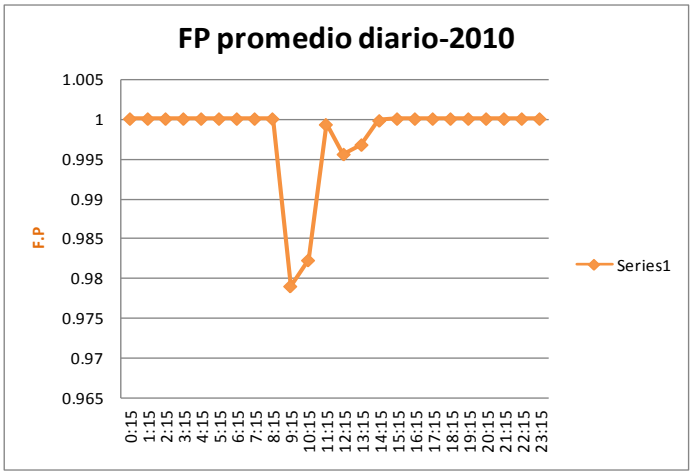


Figura 23. Factor de potencia promedio

El factor de potencia luego de la compensación se mejoró en cualquier régimen de explotación. En carga mínima se tiene valor 1.

- **Resultado del nivel de voltaje en Tablero General de Distribución**

Luego de la compensación los valores registrados con equipo de calidad de energía Fluke 1744 son los siguientes:

V. mínimo	V. promedio	V. máximo	V. nominal
0	253	263	254
	0.39 %	3,54 %	

La variación del voltaje se debe al comportamiento de la carga, el rango de variación está dentro ± 10 % respecto al voltaje nominal.

- **Resultado de las perturbaciones**

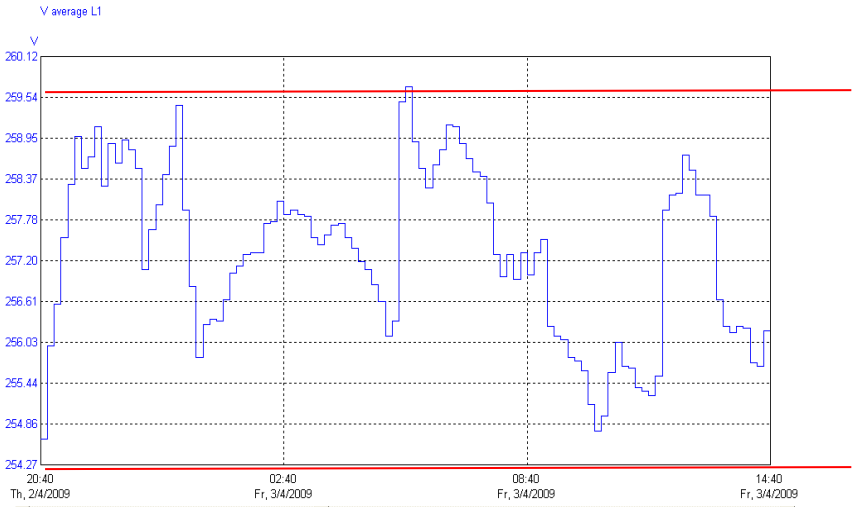


Figura 24. Resultado de perturbaciones

Una perturbación se interpreta como una caída de tensión, se acentúa en carga mínima y se recupera a plena carga, se encuentra dentro ± 10 % del Vn.

- **Resultados: medidor de energía**

Para efecto de comparación en un mismo periodo, se instaló en serie el medidor analógico con el medidor electrónico actual.

Tiempo [días]	Analógico Mitsubishi Nro 31603 [kWH]	Electrónico Elster Nro 32548 [kWH]	Diferencia [kWH]
30	6935,19	7069,26	134,07
81	18.725,00	19.087,00	362,00
%	1,890		
Costo de energía 0,1236 USD/kWH [2009]			
Costo de KWH en	Mensual [USD]	Anual [USD]	
30	16,57	198,86	
81	44,74	536,92	

- **Armónicos de tensión**

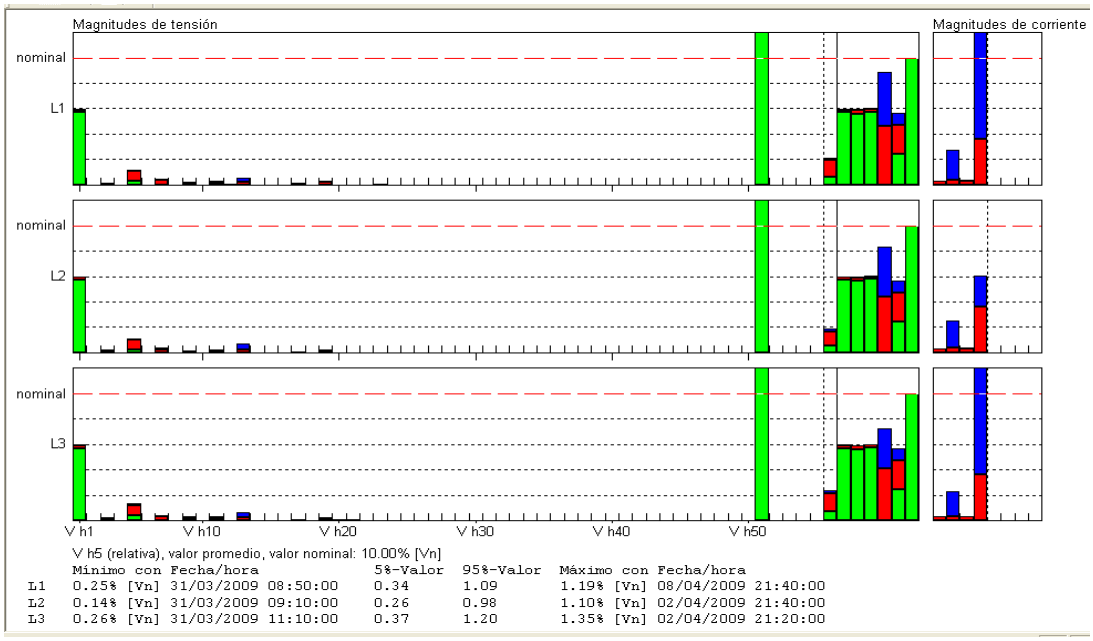


Figura 25. Armonico de tensión

El valor representativo es de la 5ta armónica a una frecuencia de 300 Hz, sin embargo los valores de THDv son menores al 8 % según la Regulación Nro 04/2001 vigentes en el Ecuador.

- **Armónicos de corriente**

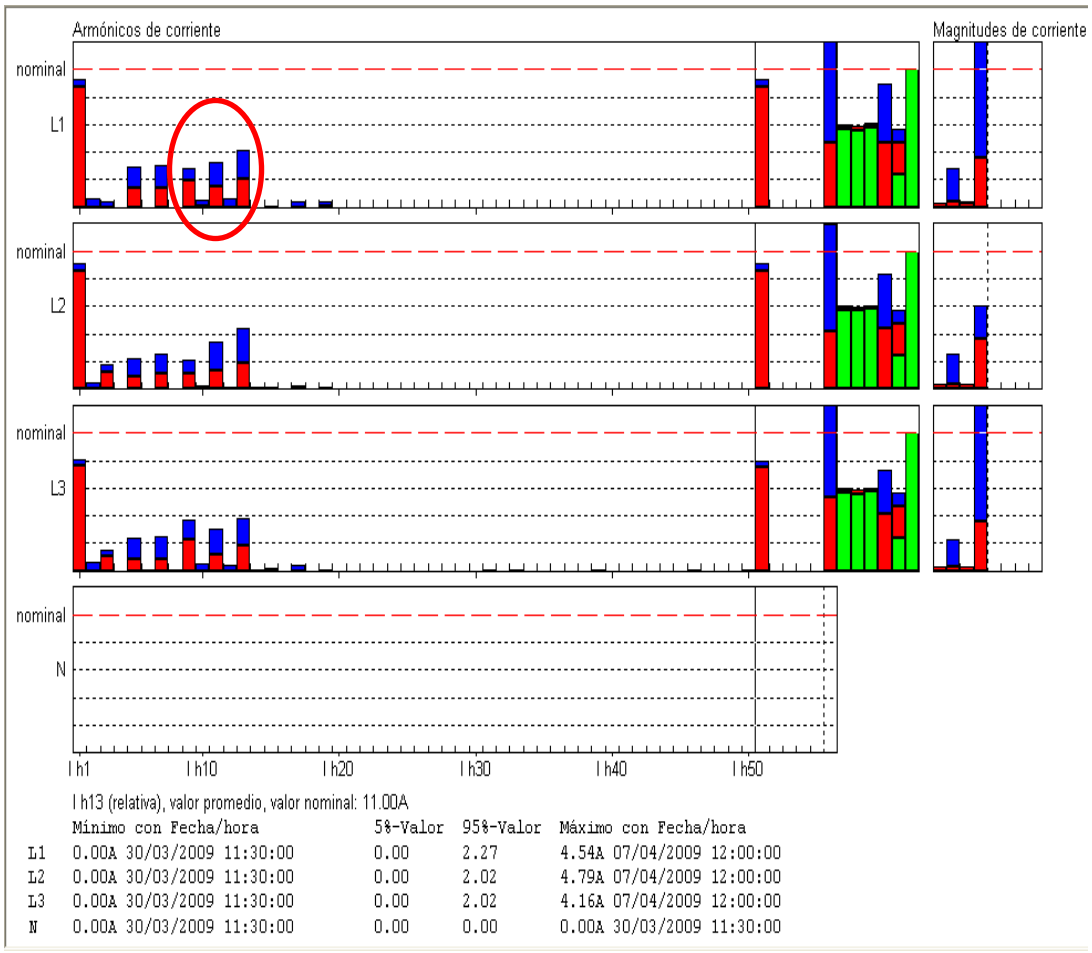


Figura 26. Armónico de corriente

Las armónicas de corriente son producidos por el cliente. Se analizará la armónicas más representativas la 9ena y el 13avo, el valor de la amplitud del armónico Ih13 (60*13 Hz= 780HZ).

5.5. Evaluación económica del sistema de compensación.

A continuación exponemos los diferentes costos de todo el proceso del proyecto, así: Costo de investigación, costo por energía no registrada, costo por bajo factor de potencia.

5.5.1 Costo de investigación

ITEM	CANTIDAD	RUBROS	V.U (US$)	V.T (US$)
1	1	Costo de energía de la PC	60	60,00
2	1	Consulta a expertos	150	150,00
3	4	Copias, impresiones, esferograficos, flash.	80	320,00
4	1	Analisis Global de resultados	500	500,00
5	3	Costo de medición	60,14	180,42
Sub Total				**1.210,42**

Costo de medición

EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR S.A.
REGISTRADORES DE ENERGÍA

ITEM	CANTIDAD	RUBROS	V.U (US$)	V.T (US$)
1	1	Memobox trifásico 300	3750	3.750,00
2	4	Memobox monofásicos 300	2280	9.120,00
3	2	Topas 1000	10683	21.366,00
4	1	Topas 2000	11400	11.400,00
5	2	Analysis 3Q	4568	9.136,00
6	1	Fluke 1744	7000	7.000,00
Sub Total				**61.772,00**

Costo anualizado		**10.933,00**
Mano de obra anual		**39.583,20**
TOTAL anual		**50.516,20**
Costo Unitario (US$/medición)		**60,14**
Costo Unitario (US$/cliente)		**0,34**

Para el costo anualizado se considera: tasa de descuento 12 %, vida útil de los equipos siete años y factor el de recuperación, bajo estas consideraciones el costo USD/medición es 60,14.

5.5.2.- Costo por energía no registrada.

Tiempo	Analógico Mitsubishi Nro 31603 [kWH]	Electrónico Elster Nro 32548 [kWH]
30	134,07	
81 días	18.725,00	19.087,00
Diferencia	362	
%	1,89	
Costo de energia 0,1236 USD/kWH [2009]		
	Mensual [USD]	Anual [USD]
30 dias	16,57	198,85
81 dias	44,74	536,92

El costo de energía promedio industrial se considera 0,1236 USD/kWH.

5.5.3. Costo por bajo factor de potencia

La EERSSA, penalizó mensualmente por bajo factor de potencia a la planta de asfalto, el siguiente cuadro ilustra el consumo de energía-costo-penalización (valores promedios).

AÑO	[kWH]	[USD]	Penalización mensual [USD]	Penalización anual [USD]
2007	69.486,00	17.884,09	368,68	4.424,16
2008	60.132,00	12.648,00	122,09	1465,08
2009	87.972,00	10.884,00	60,00	600,00

Costo de banco de condensadores

Costo de equipo[USD]	Mano de obra [USD]	Subtotal [USD]	IVA - 12 %	Total [USD]
2.100,00	1.000,00	3.100,00	372,00	3.472,00

6.- DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- El factor de potencia luego de la compensación se mejoró a un valor mayor al límite de 0,92, en cualquier régimen de explotación.

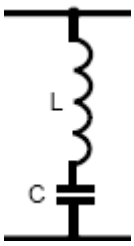
- Debido a la operación de los motores eléctricos, existe perturbaciones en el voltaje de la planta. Cuando sube la corriente, cae el nivel de tensión. Sin embargo estas variaciones se encuentran dentro del ± 10% de la tensión nominal Vn (254 V) que corresponden a valores permisibles en la primera etapa de la regulación 04/2001.

- Los 362 kWH corresponde a la potencia activa generada por los armónicos y es la energía que el medidor analógico no contabiliza. Esto representa USD 198,85 anual que la distribuidora no recauda, entre los dos medidores de energía existe un error de 1,89 %.

- Mientras se incrementa la potencia reactiva de los capacitores destinados a la compensación del factor de potencia, la posible frecuencia que produciría resonancia disminuye, así como la impedancia equivalente del sistema, lo cual la hace más probable de ocurrir.

- Con la finalidad de desintonizar el banco de compensación para armónicos del orden h=9; h=13 en donde existe la mayor probabilidad de resonancia, se deberá instalar una inductancia L [mili henrios] en serie con el capacitor, creando un filtro antiresonante. Ver tabla 5 y 6 de frecuencia de resonancia, sin embargo son valores producto de la simulación del Software.

  Para h=9, Fo = 548 HZ, L = 0,7487 mH y C= 1027,60 uf
  Para h = 13, Fo = 792, L = 1,1101 mH y C =479,55 uf



- En 10 meses el I.M. de Loja recupera la inversión del banco de capacitores. De allí importancia de colocar los capacitores y evitar la penalización por parte de la distribuidora y optimizar la calidad de energía.

7.- CONCLUSIONES

Al término del presente estudio, se puede concluir lo siguiente:

En la parte técnica

- El valor máximo de la potencia promedio, medida en intervalos de 10 minutos durante 7 días consecutivos, es de 65 kW.
- La potencia reactiva del capacitor destinado a la compensación es de 75 kVAR.
- De las mediciones (verdadero valor RMS) realizadas en la barra de carga con el capacitor instalado, se observa una elevación máxima de tensión del 2,5% de la tensión nominal, la cual se encuentra dentro del límite permitido de un valor del ± 10 % de Vn.
- Las mediciones demuestran una mejoría en el factor de potencia (de 0,60 a 0,98) en diferentes condiciones de operación de la Planta, para lo cual no habrá penalizaciones por parte de la Distribuidora, a partir del segundo semestre del 2009.

- Existen componentes armónicas en la señal de corriente. Los valores más peligrosos son los armónicos del 9 y 13. Estos pueden provocar resonancia con el capacitor diseñado. Se proponen instalar inductancias en serie con los capacitores.
- Para efecto de comparación en un mismo periodo (81dias), el medidor analógico marcó 18.725,00 kWh, el medidor electrónico marco 19.087,00 kWh hay una diferencia de 362 kWh (1,89%) que no mide el analógico, esto corresponde a la energía armónica.

En la parte Económica

- En el año 2007 la planta por consumo de energía pagó a la distribuidora USD 17.884,09, de los cuales USD 4.424,00 corresponde a la penalización por el bajo factor de potencia esto representa un 24 %.

- En el año 2008 la planta por consumo de energía pagó a la distribuidora USD 12.648,00, de los cuales USD 1.465,00 corresponde a la penalización esto representa un 11,5 %.

- En el año 2009 la planta por consumo de energía pagó a la distribuidora USD 10.884,00, de los cuales USD 600,00 corresponde a la penalización esto representa un 5,5 %. El último trimestre de éste año la planta dejo de pagar la penalización.

- El banco de compensación de 75 kVAR instalado por la planta costó USD 3.500,00 y se recupera la inversión en 10 meses.

- El Ilustre Municipio de Loja dejó de pagar anualmente un promedio de USD 2.945,00 por factor de potencia bajo (2007-2008).

- El medidor analógico # 31603, no registra en un mes 134,07 kWh a un costo de 0,1236 USD/kWh el costo de energía es USD 16,57, anualmente representa USD 198,85. Fundamentalmente se debe a la energía producida por los armónicos.

- El medidor electrónico a la distribuidora le costó USD 1.500,00 que se recuperarán en 7,5 años, en relación al costo de la energía producida por armónicos.
- El costo de energía de la planta: considerando mano de obra, depreciación de maquinaria y gastos administrativos tiene un costo aproximado USD 2/kWh

8.- RECOMENDACIONES

- La EERSSA, debe continuar con el cambio progresivo de los medidores analógicos en clientes de media tensión. Con esto la EERSSA gana en precisión en las mediciones, disminución de los niveles de pérdidas de potencia y energía.
- El presente estudio servirá a la Administración del I.M. de Loja para la gestión de la calidad de energía.
- El CONELEC, como ente regulador deberá emitir una regulación que fije los límites permisibles de armónicos de corriente.

9.- BIBLIOGRAFÍA

9.1 Libros

[1] ABREU, Augusto, Metodología para determinar las causas de perturbaciones eléctricas de tensión en instalaciones eléctricas [diapositivas], Venezuela, Energía Eléctrica de Venezuela c.a.8p.

[2] BAEZ, J, Corrección del Factor de Potencia en presencia de armónicas.2000 [Diapositivas], Septiembre.26diap.

[3] BALCELL, Josep, 2001, Calidad y Uso Racional de la Energía Eléctrica. 2da ed. España, Grafos S.A.192p.

[4] RUALES GOMEZ, Roberto, 1998, Alternativa Económica para la Corrección del Factor de Potencia, Universidad de Bajío, A.C.150p.

[5] TORRES, Horacio; ACERO, Gloria; FLECHAS, Jairo; SAUCEDO, Juan; QUINTANA, Carlos, ¨Calidad de la Energía Eléctrica CEL¨, Asociación Colombiana de Ingenieros, 2001.

9.2 Otras publicaciones

[6] Comisión de Integración Energética Regional (CIER). ¨Calidad de Potencia en la Distribución Módulo II: Sobretensiones y Armónicos¨.

[7] IEEE 519, Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power, 1992.

[8] IEEE 1159, Recommended Practices for Monitoring Electric Power Quality, 1995

[9] Regulación Nro 004, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, Quito, Ecuador, 23 de mayo de 2001.

[10] Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Suministro de Electricidad, Quito, Ecuador, 22 de noviembre de 2005.

[11] TORRES, Orly. Armónicas en los Sistemas Eléctricos de Potencia [diapositivas], Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja, Diplomado en Gestión Energética, 12 enero de 2009, 76 diapositivas.