

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE
ENERGÍA EN UNA PLANTA INDUSTRIAL MEDIANTE LA
COMPENSACIÓN DE LA ENERGÍA REACTIVA**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**ELABORADO POR:
ALEJANDRO ALFREDO CAJALEÓN PASTOR**

PROMOCIÓN 2008 - I

LIMA – PERÚ

2012

PRÓLOGO

El siguiente informe de suficiencia ha sido desarrollado con la finalidad de evaluar la problemática de una empresa respecto al consumo de energía reactiva que esta presenta, de tal manera que al finalizar el análisis se puedan plantear mejoras a implementar teniendo en cuenta las normativas vigentes. Estas mejoras se verán reflejadas en la optimización de la instalación eléctrica, que llevará a un ahorro económico por consumo eléctrico. De la mano de este ahorro, para reforzar la propuesta de mejora, se comprobará económicamente la viabilidad de la misma.

El presente informe se ha establecido en cinco (5) capítulos que ha continuación se detallan:

En el capítulo I se trata de las generalidades acerca de la situación actual de las industrias y su comportamiento frente a la energía reactiva. Se presenta el objetivo principal así como los objetivos específicos; también se explica la problemática.

En el capítulo II se presenta el fundamento teórico de la compensación de energía reactiva. Se inicia con una descripción básica del triángulo de potencias. para luego ver los beneficios de una corrección en el factor de potencia hasta tocar el tema de los armónicos y la normativa vigente.

En el capítulo III se describen las instalaciones, el equipo analizador de redes y se muestran las mediciones realizadas.

En el capítulo IV en base a las mediciones mostradas se procedió a calcular la potencia reactiva del banco a instalar. Una vez calculada la potencia necesaria, se diseñó el banco de condensadores teniendo en consideración lo mostrado en el fundamento teórico.

En el capítulo V se realiza la evaluación económica de la propuesta calculada en el capítulo IV. Se evalúa tanto por el VAN y el TIR en base a su tiempo de vida útil. Adicionalmente se evalúa la mejora en la instalación con la implementación del banco.

Finalmente se muestran las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en base al informe realizado.

Quiero dejar constancia de mi agradecimiento a la Empresa ABB por haberme facilitado toda la información técnica, así como la cotización y las mediciones realizadas en la azucarera Pomalca.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

En la actualidad en la mayoría de las industrias, están presentes cargas que pueden actuar como consumidores, que utilizan la potencia activa como fuente de alimentación así tenemos ordenadores, impresores, equipos médicos, etc., como conversor en otra forma de energía, por ejemplo lámparas o estufas eléctricas, o como trabajo útil, por ejemplo motores. Para que esta conversión sea posible, es necesario extraer de la red, conjuntamente con la potencia activa, una componente reactiva la cual no generará trabajo útil pero proveerá a la instalación de la potencia necesaria para crear los campos magnéticos.

El gran problema con este tipo de potencia es que al ser transportada por la red, incrementa la potencia total transmitida a través de todo el circuito de potencia con lo cual se tendrá que tener consideraciones extras o muchas veces sobredimensionar el conductor, transformador, generador, interruptor, etc. para que sean capaces de transportar dicha potencia.

Más aún por los altos costos que genera transportar esta potencia reactiva para la empresa distribuidora de energía eléctrica. esta penaliza a las empresas cuyo consumo de energía reactiva sobrepasa ciertos límites estipulados al momento de firmar el contrato de concesión.

Pese a todo lo expuesto y al conocimiento de las industrias de los efectos negativos de un consumo excesivo de energía reactiva. muchas veces no toman conciencia de esto y siguen pagando penalidades a la empresa distribuidora. Prueba de eso es este informe, en el cual se muestra el caso de una empresa azucarera en la cual en base a un estudio de calidad de energía realizado en sus instalaciones se detectó un consumo excesivo de energía reactiva en su red, por lo cual se le propuso la solución de banco de condensadores.

Como se verá en el desarrollo del Informe, la solución no solamente se sustentó en base a las mediciones realizadas, sino que se desarrolló los beneficios tanto técnicos como económicos de la compensación de potencia reactiva.

1.2. PROBLEMÁTICA

La principal problemática en la instalación es el exceso de consumo de energía reactiva, por lo que toda la red se encuentra sobrecargada ya que a través de ella está pasando en su mayoría energía reactiva.

Como se sabe, todas las azucareras generan su propia tensión de alimentación. pero del mismo modo, los turbogeneradores están siendo sobrecargados para poder entregar a la red el requerimiento de energía reactiva.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Analizar el mejoramiento de la Calidad de Energía en una planta industrial de acuerdo a la Normatividad vigente a fin de mejorarla compensando la energía reactiva y analizando el efecto de la presencia de armónicos.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Exponer los beneficios técnicos y económicos que se obtienen al compensar el factor de potencia de la instalación.
- Analizar el tiempo en que se recuperaría la inversión de optar por la implementación del banco de Condensadores.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES SOBRE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

En todo circuito de corriente alterna, la corriente que extrae la carga de la red puede estar representada por sus dos componentes:

- La componente activa I_R , que está en fase con la tensión de la red y representa el trabajo útil desarrollado por la carga.
- La componente reactiva I_Q , desfasada 90° con la tensión de la red y sirve para producir el flujo magnético necesario en las cargas inductivas presentes en la industria (motores, transformadores, etc.). Sin esta componente dichas cargas no serían capaces de generar su trabajo útil.

Según lo expuesto, en una instalación eléctrica será necesario generar y transportar junto con la potencia activa útil P , una cierta cantidad de potencia reactiva Q . El complejo de la potencia generada y transportada constituye la potencia aparente S .

El factor de potencia $\cos\varphi$ viene definido con la relación entre la corriente activa I_R y el valor total de la corriente I , siendo φ el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

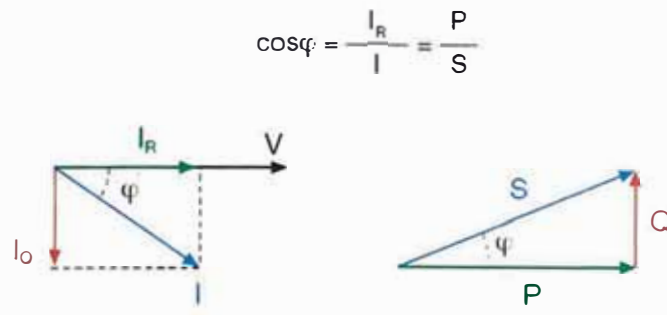


Fig. 2.1: Relación del $\cos\varphi$ en función a la corriente y al triángulo de potencias.

En la tabla 2.1 se muestran algunos factores de potencia típicos para cargas comunes en la industria.

Tabla 2.1. Factor de potencia típicos en la industria.

Carga	$\cos\varphi$ factor de potencia
Transformadores en vacío	0.1÷0.15
Motores	0.7÷0.85
Dispositivos para el tratamiento del metal:	
- soldadoras de arco	0.35÷0.6
- soldadoras de arco compensadas	0.7÷0.8
- soldadoras de resistencia	0.4÷0.6
- hornos de arco	0.75÷0.9
Lámparas fluorescentes:	
- compensadas	0.9
- no compensadas	0.4÷0.6
Convertidores de CA - CC	0.6÷0.95
Accionamientos de CC	0.4÷0.75
Accionamientos de CA	0.95÷0.97
Cargas resistivas	1

El término “corregir” será usado a la acción de incrementar el factor de potencia en una sección específica de la instalación, de tal manera que se proporcione la potencia reactiva necesaria Q a través de unos bancos de

condensadores. Consiguiéndose con esto, una reducción de la corriente transmitida por la red así como una optimización de la potencia.

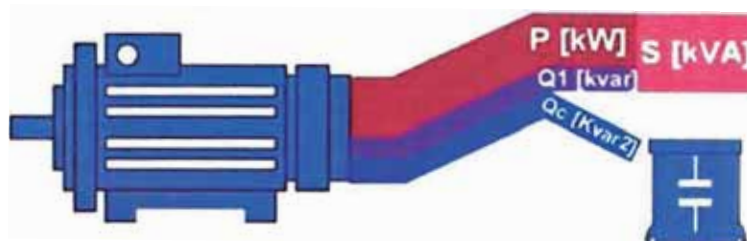


Fig. 2.2: Muestra la adición de un banco de condensadores en paralelo con la carga para mejorar el $\cos\phi$.

Por el hecho de corregir el $\cos\phi$ obtendremos ventajas técnicas como económicas, ya que si la industria en estudio cuenta con un bajo $\cos\phi$, la empresa distribuidora de energía aplicará una sanción por el exceso de energía reactiva suministrada.

Para nuestro caso, la empresa distribuidora ha establecido su sistema de tarifas en el cual el exceso de energía reactiva que sobrepase el 30% de la energía activa suministrada será facturado dependiendo del coste acordado para el tipo de suministro.

2.2. VENTAJAS TÉCNICAS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

Tal como lo hemos visto en la sección anterior, el hecho de corregir el factor de potencia mediante el uso de condensadores de tal manera que estos proporcionen la potencia reactiva, conllevará a una reducción de la corriente, ya que será igual a la de la potencia útil P , esto llevará a un uso optimizado de nuestro sistema, en la que las principales ventajas serán:

- Uso optimizado de las máquinas eléctricas.
- Uso optimizado de las líneas eléctricas.
- Reducción de pérdidas.
- Reducción de las caídas de Tensión.

2.2.1. Uso Optimizado de las máquinas eléctricas

Tanto los generadores como los transformadores son diseñados con la potencia aparente S . Por lo visto anteriormente, para una misma potencia activa P , esta será más pequeña cuando la potencia reactiva Q sea menor. Por lo tanto, si corrijo el factor de potencia de mi instalación podré dimensionar equipos con potencia aparente menor.

A modo ilustrativo, en la tabla 2.2 se puede ver el efecto de un bajo factor de potencia en transformadores.

Tabla 2.2. Potencia activa transmitida en función de la potencia del transformador y el factor de potencia.

Potencia del transformador [kVA]	Potencia activa transmitida [kW]					
	cos ϕ					
	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
63	32	38	44	50	57	63
100	50	60	70	80	90	100
125	63	75	88	100	113	125
160	80	96	112	128	144	160
200	100	120	140	160	180	200
250	125	150	175	200	225	250
315	158	189	221	252	284	315
400	200	240	280	320	360	400
630	315	378	441	504	567	630
800	400	480	560	640	720	800
1000	500	600	700	800	900	1000
1250	625	750	875	1000	1125	1250

2.2.2. Uso Optimizado de las líneas eléctricas

Del mismo modo que para el caso anterior, si reduzco la potencia reactiva transportada a través del cable, solo pasará la componente activa con lo cual me permite una elección de conductor de sección menor.

2.2.3. Reducción de las pérdidas

Debido a que las pérdidas en un conductor eléctrico dependen de la resistencia del conductor y del cuadrado de la corriente, para una misma potencia activa y cuanto mayor sea el factor de potencia, tendremos una corriente total a través del cable más baja. Con esto disminuiré las pérdidas en el conductor.

La reducción de las pérdidas luego de la compensación, viene expresada por lo siguiente:

$$\Delta p = p_1 \times \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \right)^2 \quad (2.1)$$

Donde:

- p_1 son las pérdidas antes de la corrección.
- $\cos \varphi_1$ es el factor de potencia antes de la corrección.
- $\cos \varphi_2$ es el factor de potencia después de la corrección.

2.2.4. Reducción de las caídas de Tensión

La caída de tensión en una línea trifásica viene expresada de la siguiente manera:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \frac{P}{U_n} \cdot (R + X \tan \varphi) \quad (2.2)$$

Donde:

- R y X son la resistencia y la reactancia de la línea.
- P es la potencia activa.
- I es la corriente.
- U_n es la tensión nominal.

De la expresión se puede observar que la caída de tensión será menor cuanto mayor sea el factor de potencia.

2.3. VENTAJAS ECONÓMICAS DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

Como ya se mencionó anteriormente, las empresas distribuidoras han establecido a manera de penalización que a partir de un consumo de energía reactiva mayor al 30% de su equivalente en energía activa se procederá a cobrar 0.00311S/./kVARh.

Para tener una energía reactiva equivalente al 30% equivale a tener una instalación cuyo $\cos\varphi$ sea igual a 0.9578 de acuerdo a lo siguiente:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} = 0.3 \quad \cos\varphi = 0.9578$$

Para calcular el costo adicional que se está pagando por concepto de energía reactiva se tendrá en cuenta lo siguiente:

$$C_{EQ} = (E_Q - 0.3 \times E_P) \times c \quad (2.3)$$

En donde:

- C_{EQ} es el coste de la energía reactiva en un año en S/.
- E_Q es la energía reactiva consumida en un año en kVARh.
- E_P es la energía activa consumida en un año en kWh.
- c es el costo unitario de la energía reactiva en S/./kVARh.

2.4. MEDIOS DE PRODUCCIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA

Como ya hemos visto, será necesario proveer a la instalación de la potencia reactiva necesaria a fin de mejorar el factor de potencia.

Los medios que producen la potencia reactiva son los siguientes:

- Alternadores Síncronos.

- Compensadores Síncronos.
- Compensadores Estáticos.
- Baterías de Condensadores Estáticos.

Desde el punto de vista aplicativo, los tres primeros medios se utilizan para la compensación de sistemas de alta y media tensión.

Para baja tensión y el cuál es motivo de este informe, se analizará la solución con batería de condensadores estáticos.

2.4.1. Baterías de condensadores estáticos.

El condensador es un bipolo pasivo constituido por dos superficies conductoras, llamadas armaduras, entre las cuales se interpone un material dieléctrico.

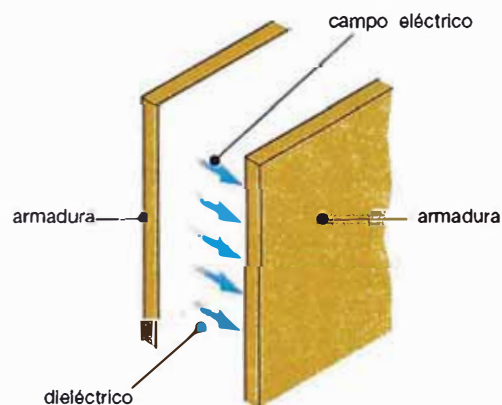


Fig. 2.3: Esquema de un condensador plano.

Los condensadores de última generación son del tipo secos, con el cual se mejora el tiempo de vida útil así como las propiedades eléctricas. Estos condensadores no presentan riesgos ambientales ante un eventual derrame de la sustancia impregnante.

En base a la geometría de las armaduras metálicas. los condensadores pueden ser:

- Condensadores Planos.
- Condensadores cilíndricos.
- Condensadores esféricos.

Las principales características que definen al condensador son:

- La capacidad nominal C_n : Es una propiedad de los condensadores y viene dada por la relación entre la tensión, la potencia del condensador y la frecuencia, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$C = \frac{Q}{2 \times \pi \times f \times V^2} \quad (2.4)$$

En donde:

- C es la capacitancia expresada en faradios.
 - Q es la potencia reactiva expresada en VAR.
 - f es la frecuencia expresada en hz.
 - V es la tensión de alimentación del condensador en Volts.
- La potencia nominal Q_n : la potencia reactiva para la cual ha sido diseñado el condensador.
 - La tensión nominal U_n : el valor eficaz de la tensión alterna para la que el condensador ha sido diseñado.
 - La frecuencia nominal f_n : la frecuencia para la cual el condensador ha sido diseñado.

Dada su capacidad para acumular y suministrar energía, el condensador es el principal elemento para realizar los bancos de corrección de factor de potencia reactiva.

2.5. TIPOS DE CORRECCIÓN

La localización de los condensadores en una red eléctrica se determina según:

- El objetivo buscado: supresión de las penalidades, descarga de las líneas y transformadores, aumento de la tensión en el final de la línea.
- El modo de distribución de la energía eléctrica.
- El régimen de carga.
- La influencia previsible de los condensadores en la red.
- El coste de la instalación.

Por esto la compensación puede ser:

- Corrección Distributiva.
- Corrección por Grupos.
- Corrección Centralizada.
- Corrección Mixta.
- Corrección Automática.

2.5.1. Corrección Distributiva

Se realiza conectando el banco de condensadores directamente a los terminales de la carga que requiera la potencia reactiva.

Entre sus principales beneficios es que es sencilla y poco costosa, ya que el condensador y la carga se benefician del mismo circuito de control. La

principal ventaja es que se alivia toda la instalación, ya que la corriente reactiva será suministrada cerca de la carga y a través de toda la instalación solo pasará la corriente activa necesaria.

Este tipo de instalación es recomendable cuando se tiene cargas con factores de potencia constantes y tiempos de conexión prolongados. Usualmente usados en motores y lámparas fluorescentes.

Un tema en tener en consideración será la desconexión de los bancos de condensadores, ya que de no desconectarse conjuntamente con la carga, se corre el riesgo de que el motor se autoexcite y pueda comportarse como un generador.

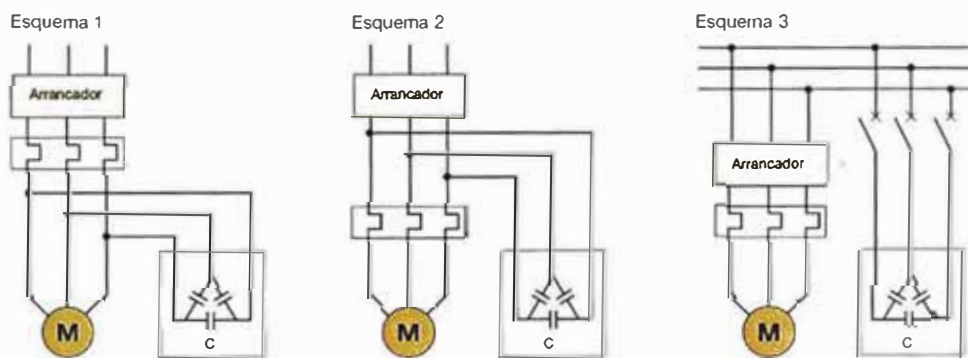


Fig. 2. 4: Diversos modos de conexión Individual.

2.5.2. Corrección por Grupos

Consiste en compensar localmente grupos de cargas con comportamientos de funcionamiento similares mediante la instalación de los bancos de condensadores.

Este método es un balance correcto entre la solución económica unido con el correcto funcionamiento de la red, ya que todos los beneficios de la

corrección afectan solo a las líneas que se encuentran aguas arriba del punto de la instalación del banco.

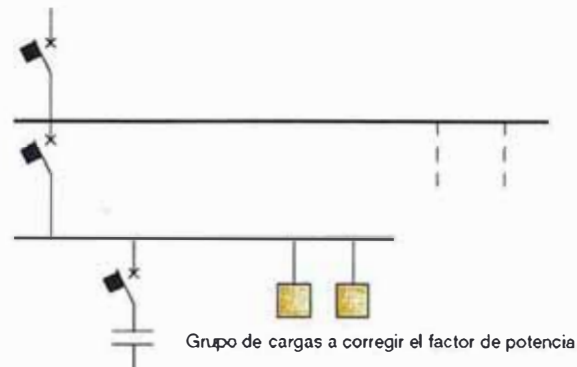


Fig. 2.5: Esquema de compensación Distribuida.

2.5.3. Corrección Centralizada

Este tipo de corrección funciona especialmente cuando se tienen grupos de cargas que funcionan de manera simultánea y/o algunas se encuentran en operación durante pocas horas al día. Por esta razón se observa que la solución de corrección distribuida resulta demasiado costosa, ya que por periodos definidos, los bancos de condensadores quedan inutilizados.

En este tipo de corrección se emplean comúnmente sistemas automáticos que están monitoreando constantemente la red. La única desventaja de este tipo de corrección es que el sistema eléctrico no se alivia aguas abajo del punto de instalación, lográndose en la mayoría de los casos simplemente una mejora en los costos por penalidades.

2.5.4. Corrección Mixta

Este tipo de corrección nace de la mezcla de una corrección distribuida y una centralizada. En este tipo se aprovechan las ventajas de cada una de ellas, optando para el caso de las cargas de mayor potencia de una corrección distribuida.

Este tipo de corrección se utiliza cuando se tienen equipos o cargas cuyo consumo de potencia reactiva sea alto y sean usados con frecuencia de tal manera que se compensa centralizadamente el resto de la instalación.

2.5.5. Corrección Automática

Para optimizar el uso de los bancos de condensadores y para tener un suministro de potencia reactiva necesaria que puede ser variable dependiendo de la carga y tipo de proceso, se emplean sistemas automáticos en el cual a través de un sistema de detección se está constantemente monitoreando la red.

Un sistema de corrección automático está formado por:

- Medidores que detectan las señales de corriente y tensión.
- Equipo inteligente que compara el factor de potencia medido con el deseado y comanda el ingreso o salida de los condensadores dependiendo de la potencia reactiva necesaria.
- Un tablero eléctrico de potencia provisto con los dispositivos de protección y maniobra.
- Los condensadores.

La finura o la potencia de los condensadores será un factor determinante al momento de proporcionar la potencia reactiva necesaria, ya

que mientras más pequeña sea la diferencia entre los pasos, mucho mejor será la precisión de compensación.

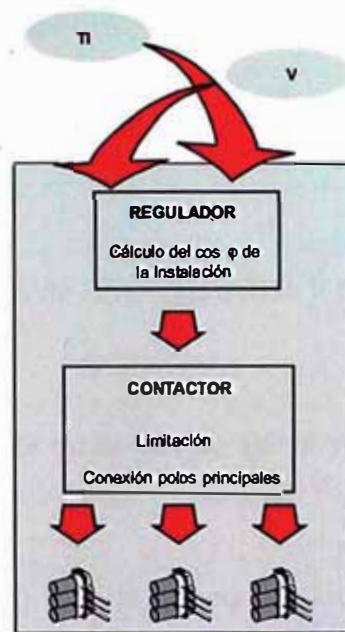


Fig. 2. 5: Esquema básico de un banco de corrección automática.

2.6. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

A fin de comenzar a dimensionar el banco de condensadores, necesitamos tener una lectura del factor de potencia inicial que presenta nuestra instalación, de esa manera evitaremos al momento de dimensionar nuestro banco el sobre dimensionamiento y una posible inyección excesiva de energía reactiva, lo cual también es sancionado por la empresa distribuidora de energía.

Para poder determinar el factor de potencia es posible realizarlo a través de dos formas:

- Directamente a través de un cosfímetro o una lectura en un analizador de redes: Este tipo de medición se hará tomando mediciones periódicas a través

de un lapso de tiempo, luego del cual dependiendo del perfil de la carga se tomará el promedio.

- Indirectamente, a través de la lectura de los contadores de energía activa y reactiva o a través del recibo: Será realizado de la siguiente manera:

$$\cos \varphi = \cos \tan^{-1} \frac{E_{Qf} - E_{Qi}}{E_{Pf} - E_{Pi}} \quad (2.6)$$

En donde:

- E_{Pi} y E_{Qi} son los valores de la energía activa y reactiva leídos al comienzo del ciclo de trabajo.
- E_{Pf} y E_{Qf} son los valores de la energía activa y reactiva leídos al término del ciclo de trabajo.

Este método de cálculo será de principal relevancia en caso se desee hacer una compensación centralizada ya que podremos obtener un factor de potencia medio mensual.

2.7. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA NECESARIA.

Una vez que conocemos el factor de potencia medio mensual ($\cos\varphi_1$) y sabemos cual va a ser nuestro factor de potencia deseado ($\cos\varphi_2$), es posible determinar la potencia del banco de condensadores para lograr una compensación adecuada.

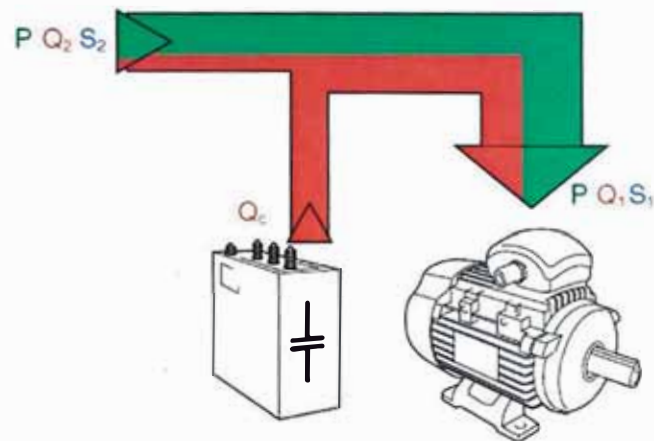


Fig. 2.6: Esquema de Compensación por banco de condensadores.

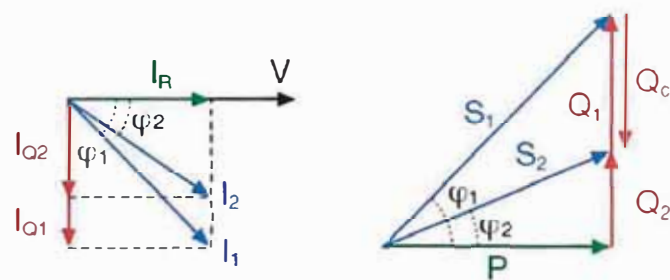


Fig. 2.7. Triángulo de potencia de la compensación de factor de potencia.

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P \cdot \tan \varphi_1 - \tan \varphi_2 \quad (2.7)$$

Donde:

- P es la potencia activa.
- Q₁, φ₁ son la potencia reactiva y el ángulo de desfase antes de la corrección.
- Q₂, φ₂ son la potencia reactiva y el ángulo de desfase después de la corrección.
- Q_c es la potencia reactiva de corrección.

2.7.1. Corrección de Motores Trifásicos

Para el caso de determinar la potencia reactiva necesaria para los motores asíncronos, está no será posible determinarla con exactitud ya que el factor de potencia de un motor se ve fuertemente afectado dependiendo de las condiciones de carga del mismo, el número de polos y la eficiencia.

A fin de ver el efecto que tiene cada uno de los factores descritos podemos ver los cuadros y las gráficas siguientes:

Tabla 2.3: Factores de potencia nominales en función del número de polos y la potencia.

Potencia nominal		Número de polos			
KW	CV	2	4	6	8
1.1	1.5	0.85	0.79	0.75	0.75
1.5	2	0.85	0.79	0.75	0.75
2.2	3	0.85	0.79	0.75	0.75
3	4	0.86	0.80	0.75	0.75
4	5.5	0.86	0.82	0.76	0.76
5.5	7.5	0.87	0.85	0.76	0.76
7.5	10	0.88	0.85	0.76	0.76
11	15	0.88	0.85	0.77	0.80
1.5	20	0.88	0.85	0.80	0.80
18.5	25	0.88	0.85	0.82	0.81
22	30	0.88	0.85	0.83	0.82
30	40	0.88	0.86	0.84	0.83
45	60	0.89	0.87	0.86	0.84
55	75	0.89	0.88	0.87	0.85
75	100	0.89	0.88	0.88	0.86
90	125	0.89	0.88	0.88	0.86
$\cos\phi_n$					

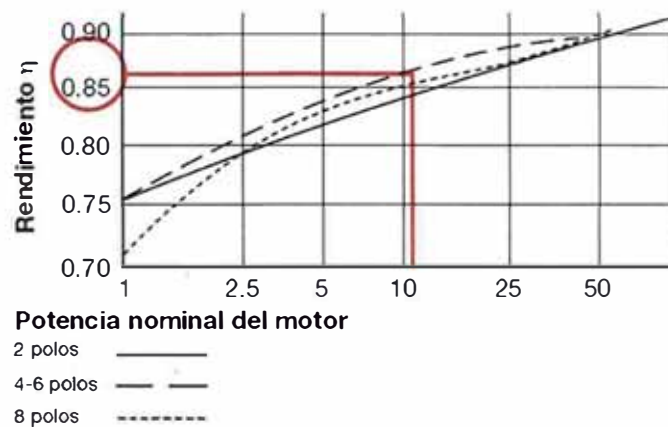


Fig. 2.8: Rendimiento en función de la potencia.

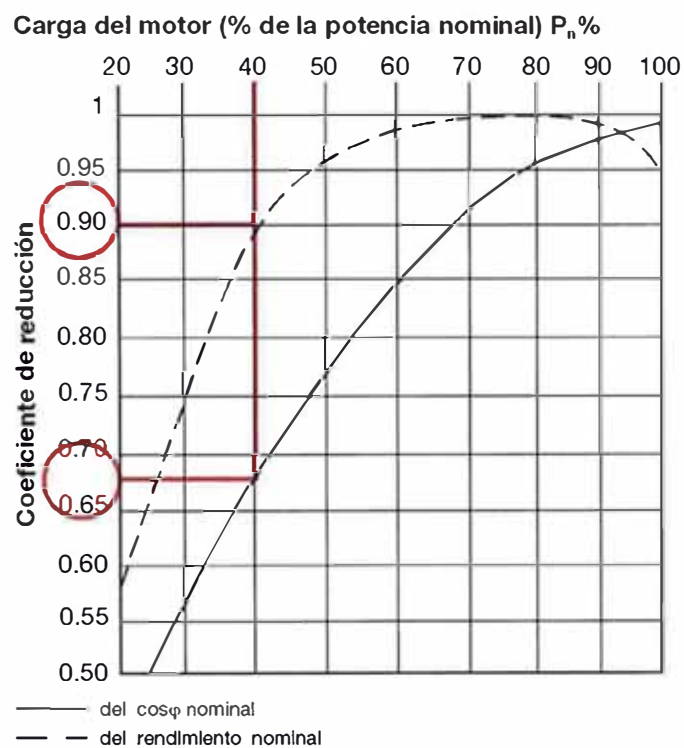


Fig. 2.9: Coeficiente de reducción en función a la carga del motor.

Como se puede observar, este método de cálculo nos puede llevar a errores de cálculo o a problemas al momento de dimensionar nuestros bancos. Para desvincular la corrección del factor de potencia de las condiciones de utilización del motor, se debe utilizar para un motor de potencia P_n una

potencia reactiva Q_n no superior al 90% de la potencia reactiva absorbida por el motor en vacío Q_0 con una tensión nominal U_n .

$$Q_c = 0.9 \cdot Q_0 = 0.9 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_0}{1000} \text{ kvar} \quad (2.8)$$

La corriente I_0 generalmente aparece en la documentación del fabricante del motor.

Un punto a tener en consideración en la compensación de motores será el hecho de la autoexcitación, de tal manera que evitaremos las sobretensiones en los terminales del motor. Para evitar esto, será necesario un juego de contactores que conecten y desconecten los condensadores a la red.

En el caso que los motores cuenten con sistemas de arranque propios tales como estrella-triángulo, autotransformador o arranque suave, la compensación tendrá que darse luego que el arranque haya finalizado y se encuentre a su tensión nominal.

2.7.2. Corrección de Transformadores Trifásicos

Como ya se dijo anteriormente, el transformador es una máquina eléctrica de fundamental importancia y que en la mayoría de instalaciones, permanece constantemente en servicio.

Principalmente la corrección se dará en las instalaciones eléctricas que estén formadas por subestaciones de transformación y de alimentación de energía eléctrica, teniendo en cuenta la potencia reactiva del transformador de tal manera que se mantenga un factor de potencia medio de 0.9 para media tensión.

A modo práctico, la potencia de corrección Q_c en un transformador de potencia nominal S_r (kVA) no deberá ser mayor a la potencia reactiva absorbida en condiciones de mínima carga.

Para el cálculo de la potencia Q_x será necesario extraer de la placa de características del transformador los siguientes datos:

- El valor porcentual de la corriente en vacío $i_0\%$.
- La tensión de cortocircuito porcentual $u_k\%$.
- Las pérdidas en el hierro P_{fe} (kW).
- Las pérdidas en el cobre P_{cu} (kW).

De tal manera que la potencia de corrección será:

$$Q_c = \sqrt{\frac{I_0\%}{100} \cdot S_r^2 - P_{fe}^2} + K_L^2 \cdot \sqrt{\frac{u_k\%}{100} \cdot S_r^2 - P_{cu}^2} \cong$$

$$\rightarrow \frac{I_0\%}{100} \cdot S_r + K_L^2 \cdot \frac{u_k\%}{100} \cdot S_r \quad \text{kvar} \quad (2.9)$$

Donde K_L es el factor de carga, definido como la relación entre la carga mínima de referencia consumida y la potencia nominal del transformador.

2.8. INFLUENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN EL FACTOR DE POTENCIA DE UNA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

2.8.1. Definición de Armónicos

Debido al desarrollo tecnológico en el ámbito industrial y a la aparición de cargas no lineales que cuentan con electrónica de potencia tales como tiristores, IGBT, etc. las cuales absorben corrientes no sinusoidales, ha

ocasionado aguas arriba de la instalación una caída de tensión del mismo comportamiento no sinusoidal, con lo cual se tiene en la barra una tensión distorsionada. Los armónicos son los componentes de una forma de onda distorsionada, matemáticamente se define a un armónico como la onda con frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental de trabajo del sistema y cuya amplitud va decreciendo conforme aumenta el múltiplo.

Según el teorema de Fourier, cualquier función periódica generalmente continua y limitada puede representarse como la suma de infinitos términos sinusoidales cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia de la función original.

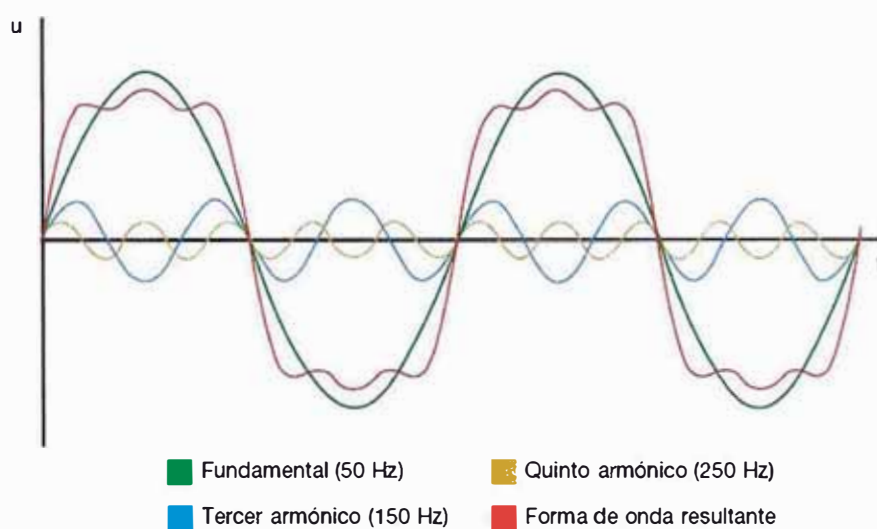


Fig. 2.10. Onda periódica descompuesta en ondas sinusoidales.

En resumen, la presencia de armónicos en un sistema eléctrico indica la deformación de la forma de onda de la tensión o de la corriente, lo que conlleva una distribución de energía eléctrica que podría provocar el funcionamiento deficiente de los equipos.

Un indicador que mide el grado de armónicos presentes en un red es el THD (Total Harmonic Distorsion) o comúnmente llamado la tasa de distorsión armónica, la cual viene definida por:

$$THD\% = 100 \sqrt{\sum_{h=2}^H \left(\frac{U_n}{U_1}\right)^2} \quad (2.10)$$

2.8.2. Fuentes Generadoras de Armónicos

Las principales fuentes de armónicos vienen generadas por los siguientes aparatos:

- Ordenadores.
- Lámparas fluorescentes y de descarga en gas.
- Convertidores estáticos.
- Grupos de Continuidad (UPS).
- Accionamiento de Velocidad Variable.
- Soldadoras.
- Hornos de arco y de inducción.

2.8.3. Prescripciones de las Normativas

Las normas técnicas establecen prescripciones concretas a seguir para la reducción de los efectos de los armónicos en los condensadores.

La norma IEC EN 61642 Redes industriales de corriente alterna afectadas por armónicos - Aplicación de filtros y de condensadores estáticos de corrección identifica los problemas y proporciona recomendaciones para la aplicación general de los condensadores y los filtros de armónicos en las

redes de energía de corriente alterna afectadas por la presencia de tensiones y de corrientes armónicas.

En particular, ilustra el problema de la resonancia en serie y en paralelo y ofrece ejemplos clarificadores.

Localmente, la regulación que rige los niveles máximos respecto a calidad de energía es la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos.

Esta norma evalúa lo siguiente:

- a) Calidad del Producto.
 - Tensión.
 - Frecuencia.
 - Perturbaciones (Flicker y Tensiones Armónicas).
- b) Calidad de Suministro.
 - Interrupciones.
- c) Calidad de Servicio Comercial.
 - Trato al cliente.
 - Medios de atención.
 - Precisión de medida.
- d) Calidad de alumbrado al público.
 - Deficiencias del alumbrado.

2.8.4. El Efecto de los Armónicos

2.8.4.1. Sobrecargas

La sobrecarga se presenta al incremento de los valores eficaces y picos de la onda de corriente por la presencia de armónicos. Estos valores van a llegar en un punto a distorsionar de tal manera la onda de corriente que podrán ocasionar los siguientes daños:

- Daño en los equipos de protección tales como fusibles e interruptores.
- Sobrecargas con el conductor del Neutro.
- Aumento en las pérdidas en los transformadores.
- Aumento en las pérdidas de los conductores por efecto Joule.
- Daño en los condensadores.

Este aumento de la corriente se debe al comportamiento inversamente proporcional de la reactancia capacitiva, es por eso que la impedancia producida en los armónicos de tensión disminuye al aumentar el orden de armónico. Es por esto que los condensadores pueden estar expuestos a corrientes superiores que los podrían dañar seriamente.

$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$	$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$
reactancia capacitiva	reactancia inductiva

Fig. 2.11: Comportamiento de la reactancia capacitiva e inductiva.

Analicemos el caso de un condensador conectado en triángulo para calcular el efecto que tendrá la corriente en presencia de armónicos, ya que se tiene:

$$I_n = \sqrt{3} \cdot n \cdot \omega \cdot C \cdot U_n \quad (2.11)$$

En donde:

- I_n es la corriente del n-ésimo armónico.
- n es el orden de armónicos.
- ω es la pulsación del armónico fundamental.
- C es la capacidad del condensador.
- U_n es la tensión correspondiente al n-ésimo armónico.

De la expresión, se tiene que la corriente total que pasará por la instalación ante la presencia de armónicos será:

$$I_C = \sqrt{3} \cdot \omega \cdot C \cdot \sqrt{U_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} n \cdot U_n^2} \quad (2.12)$$

Con esto podemos ver que ante presencia de armónicos, la corriente a la que es expuesta mi instalación será mayor a la que se tendría en caso estos fueran mitigados. Es por esto que las normas IEC EN 60831-1 e IEC EN 60931-1 establecen que los condensadores sean capaces de funcionar permanentemente ante corrientes superiores a la nominal.

2.8.4.2. Resonancia

Un efecto de mayor estudio será el caso de resonancia, ya que como se ha visto en la sección anterior, la reactancia capacitiva e inductiva varía respecto a la frecuencia o al orden de los armónicos, disminuyendo y aumentando respectivamente.

Para nuestro caso se tendrá la reactancia capacitiva del banco de condensadores y la reactancia inductiva de la red, si sumamos vectorialmente estas cantidades, se llegará a una frecuencia dada en la cual ambas cantidades se igualarán.

$$X_L = X_C \rightarrow f_r = \frac{1}{2\pi \cdot L \cdot C} \quad (2.12)$$

A esta frecuencia, en la cual se igualan ambas reactancias, se le llama frecuencia de resonancia.

En una instalación eléctrica se tendrá resonancia en serie o paralelo, pudiéndose presentar incluso ambas.

En una resonancia serie se presenta lo siguiente:

$$Z_{tot} = j X_L - X_C = 0 \quad (2.13)$$

Mientras que, en una resonancia en paralelo se tiene:

$$Z_{tot} = \frac{X_L \cdot X_C}{j X_L - X_C} \rightarrow \infty \quad (2.13)$$

Por lo visto, si en una instalación se le alimenta con una tensión cercana a la de resonancia y ocurre una resonancia serie puede dar lugar a una amplificación de la corriente absorbida, la cual puede provocar perturbaciones, sobrecorrientes e incluso daños en los componentes de la red. Por el contrario, si recibe una corriente con armónicos y ocurre una resonancia en paralelo, se tendrá una sobretensión para el armónico de resonancia.

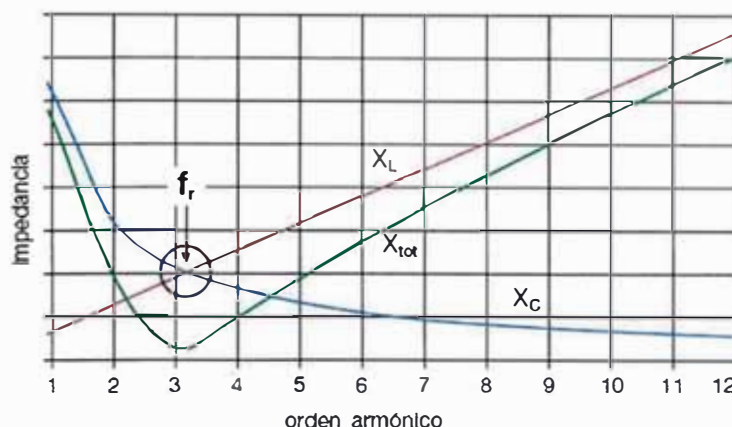


Fig. 2.12: Comportamiento típico de un circuito resonante serie.

2.8.5. Métodos para la eliminación de armónicos

Como se ha visto en las secciones anteriores y dado el grado destructivo y perjudicial de los armónicos, será necesario eliminarlos o en todo caso proteger al banco de condensadores de estos efectos, para lograr eso se podrá proceder con lo siguiente:

- Banco de Condensadores con Filtro de Rechazo: En este tipo de bancos se conecta una impedancia en serie con el condensador de tal manera que el arreglo fuerza la frecuencia de resonancia a una frecuencia segura, en la cual no haya presencia de armónicas para esa frecuencia.
- Filtro Pasivo: Es un banco de condensadores en el cual gracias a un arreglo en serie de impedancia- condensador está diseñado para resonar a la frecuencia de armónica presente en la red, consiguiendo con esto la eliminación de dicha armónica al descargarla a tierra. En este tipo de filtros la solución tiene que ser muy exacta y no será adecuada en caso hayan varias armónicas presentes en la red.

- Filtro Activo: Es la solución más conveniente en redes donde se tiene una alta tasa de distorsión armónica. está formada básicamente de una fuente de corriente, la cual inyecta pulsos de corriente a diversas frecuencias opuestos a los presentes en la red, consiguiendo con esto la eliminación total de los armónicos de corrientes presentes en la red. por consiguiente, los armónicos de tensión.

2.9. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

2.9.1. Interruptores

ABB ofrece los siguientes tipos de interruptores automáticos en caja moldeada y abiertos para la protección contra sobrecorrientes y el seccionamiento de baterías de condensadores.

2.9.1.1. Interruptores en Caja Moldeada.

Interruptores en caja moldeada trifásicos de la serie Tmax conformes a la norma IEC EN 60947-2, equipados con relé de protección termomagnético o electrónico, con un campo de aplicación de 1.6 A a 1600 A y capacidades de corte de 10 kA a 200 kA a 400 V.

Los interruptores en caja moldeada disponibles son:

Interruptores Tmax T1, T2, T3, T4 equipados con relés de protección termomagnéticos TMD con umbral térmico ajustable ($I_1=0.7..1 \times I_n$) y magnético fijo ($I_3=10 \times I_n$):

- Interruptores Tmax T4, T5, T6 equipados con relés de protección termomagnéticos TMA con umbral térmico ajustable ($I1=0.7..1 \times I_n$) y magnético ajustable ($I3=5..10 \times I_n$);
- Interruptores Tmax T2, T4, T5, T6 equipados con relés de protección electrónicos PR221DS; interruptores Tmax T4, T5, T6 equipados con relés de protección electrónicos PR222DS/P, PR222DS/PD, PR223DS;
- Interruptores Tmax T7 equipados con relés de protección electrónicos PR231/P, PR232/P, PR331/P, PR332/P.

2.9.1.2. Interruptores de Bastidor Abierto.

Interruptores automáticos abiertos de la serie Emax E1..E6, conformes a la norma IEC EN 60947-2, con un campo de aplicación de 400 A a 6300 A, capacidades de corte de 42 kA a 150 kA a 400 V y equipados con relés de protección electrónicos PR121/P, PR122/P y PR123/P.

Interruptores automáticos Emax X1, con un campo de aplicación de 400 A a 1600 A, capacidades de corte de 42 kA a 65 kA a 400 V y equipados con relés de protección electrónicos PR331/P, PR332/P y PR333/P.

2.9.2. **Contactores**

ABB ofrece tres versiones de contactores en función del valor del pico de corriente en el momento de la inserción y de la potencia de la batería de condensadores:

- Contactores tripolares UA..RA con corriente de pico ilimitada;

- Contactores tripolares UA con corriente de pico igual o menor a 100 veces el valor eficaz de la intensidad nominal;
- Contactores tripolares normales A y AF para inserción de baterías individuales con corriente de pico inferior o igual a 30 veces el valor eficaz de la intensidad nominal.

2.9.3. Condensadores CLMD

Los condensadores CLMD están constituidos por una serie de elementos bobinados y por un dieléctrico con película de polipropileno metalizada.

Están equipados con resistencias de descarga (<50 V en un minuto) y pueden utilizarse sin necesidad de instalar otras resistencias de descarga adicionales.

Ofrecen las siguientes ventajas: diseño en seco, de forma que no hay riesgos de dispersión o contaminación del ambiente; la película metalizada de polipropileno garantiza la capacidad de soportar tensiones elevadas y picos de corriente, una elevada capacidad de autorregeneración, unas pérdidas contenidas y una elevada estabilidad del valor de capacidad.

Los elementos que lo componen, montados en un contenedor de plástico hermético, se someten a un tratamiento en vacío que mejora sus propiedades eléctricas y cada uno de ellos cuenta con un sistema de protección que garantiza un seccionamiento seguro y selectivo al término del ciclo de vida.

Estos elementos vienen montados en el interior de un cilindro de plancha de acero relleno de material inerte y resistente al fuego, conectados (monofásico o trifásico) de manera que suministran la potencia requerida en función de los valores de tensión/frecuencia asignados.

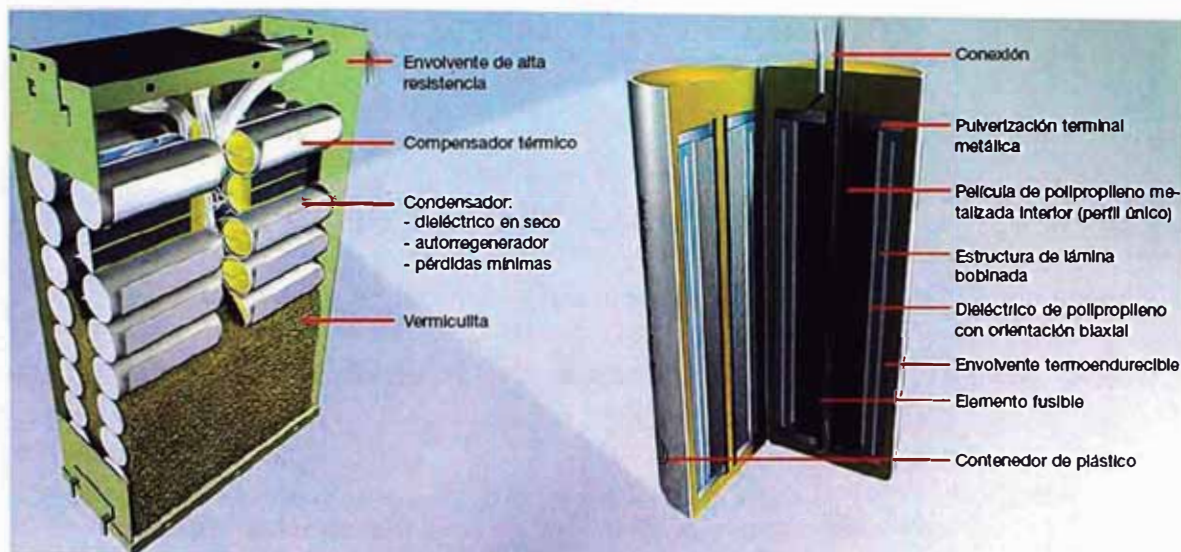


Fig. 2.13: Diseño Básico de Construcción de un condensador

2.9.4. Regulador Automático RVC

El regulador será el cerebro en un banco de condensadores automáticos, será el encargado de dar la señal de a los condensadores para que ingresen los pasos.

El regulador RVC es un regulador amigable con una pantalla de lenguaje neutro la cual viene disponible para bancos de condensadores con 3, 6, 9 y 12 pasos.

Posee función de alarma en caso el $\cos\phi$ no es alcanzado y también por sobretemperatura. Posee protecciones contra sub y sobre tensión, así como protección contra armónicos ya que mide el THDv.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS ACTUAL DE LA INSTALACIÓN

3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Las instalaciones de estudio es la azucarera Pomalca S.A. del Grupo Oviedo. De todo el circuito de fuerza se está analizando la subestación Trapiche, la cual cuenta con:

- Transformador de 630 kVA de 6600/440 V, con una $V_{cc}=4\%$.
- 2 Transformadores de 1000 y 750 kVA de 6600/440 V, con una $V_{cc}=4\%$.

Las mediciones fueron realizadas por cuestiones prácticas en el intervalo de 25 min para el transformador de 630 kVA y para los dos transformadores en paralelo fue de 4 horas.

3.2. PLANOS ELÉCTRICOS

La subestación se muestra de acuerdo al diagrama adjunto:

DIAGRAMA UNIFILAR DE SUBESTACION MACHETES TRAPICHE POMALCA

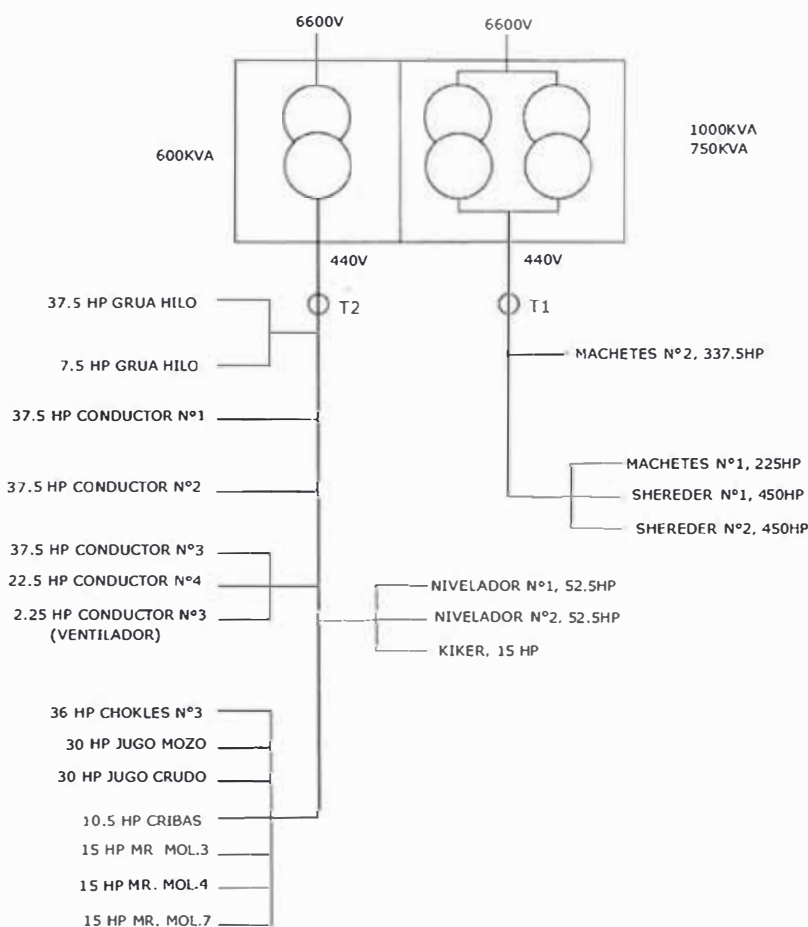


Fig. 3.1. Diagrama Unifilar de Subestación Machete Trapiche

Como se puede ver, el arreglo de los dos transformadores en paralelo es aquel que más carga soporta.

3.3. PROBLEMÁTICA PRESENTE

La principal problemática en la instalación es el exceso de consumo de energía reactiva, por lo que toda la red se encuentra sobrecargada ya que a través de ella está pasando en su mayoría energía reactiva.

Como se sabe, todas las azucareras generan su propia tensión de alimentación, pero del mismo modo, los turbogeneradores están siendo sobrecargados para poder entregar a la red el requerimiento de energía reactiva.

3.4. DESCRIPCIÓN DEL ANALIZADOR DE REDES

El analizador de redes usado para la medición es el Fluke 435, adjunto una breve descripción del equipo:

El Fluke 435 de potencia trifásico analizador de calidad ayudan a localizar, predecir, prevenir y solucionar problemas en tres-y los sistemas monofásicos de distribución de energía. Solución de problemas es más rápida con la exhibición en pantalla de las tendencias y eventos capturados, incluso durante la grabación de fondo continúa.

El Fluke 435 ofrece características únicas como AutoTrend, que registra todo en la pantalla de forma automática, el sistema Monitor, un rápido diagnóstico del funcionamiento del sistema respecto a los límites definidos por el usuario; función Logger con múltiples parámetros de registro y transmisión de señales, la interferencia de las medidas de las señales de control remoto en frecuencias específicas. Estas características ayudan a diagnosticar rápidamente los problemas y crear puntos de referencia para el mantenimiento predictivo.

Las nuevas normas IEC para flicker, armónicos y calidad de la energía se construyen derecho a tomar las conjeturas de calidad de la energía.

Fácil de usar con resultados inmediatos

Diseñado para los especialistas de calidad de energía, así como electricistas y técnicos que trabajan en la planta industrial, salud, negocios, y la configuración de

los servicios públicos, el Fluke 435 tiene funciones normalmente sólo se encuentran en los registradores de energía cara. Sin embargo, su interfaz basada en menús permite a los usuarios estar conectados y el registro en cuestión de minutos.

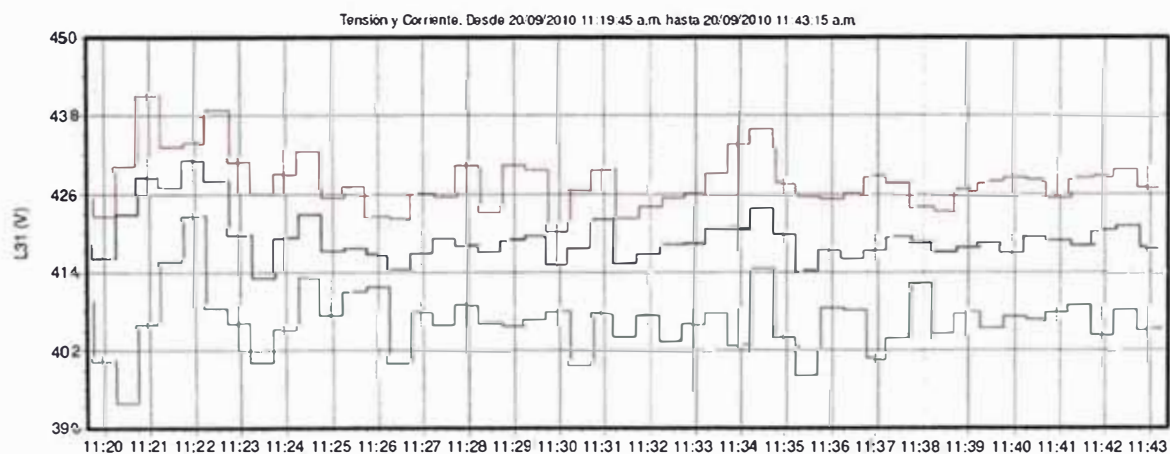
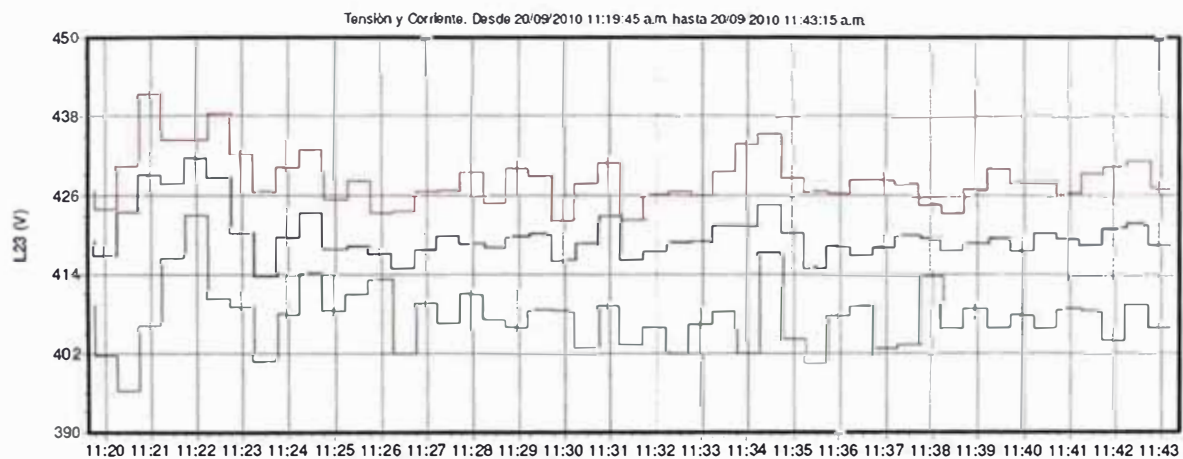
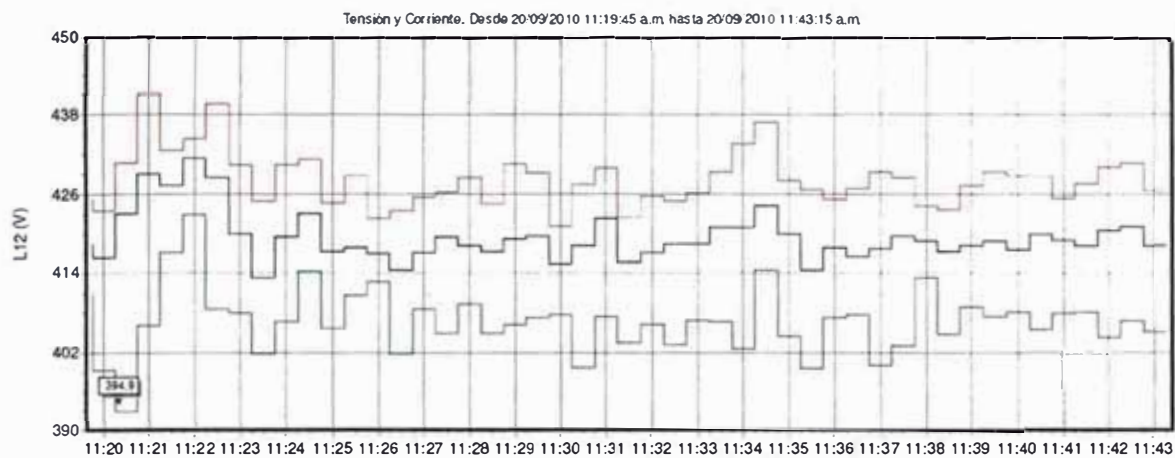


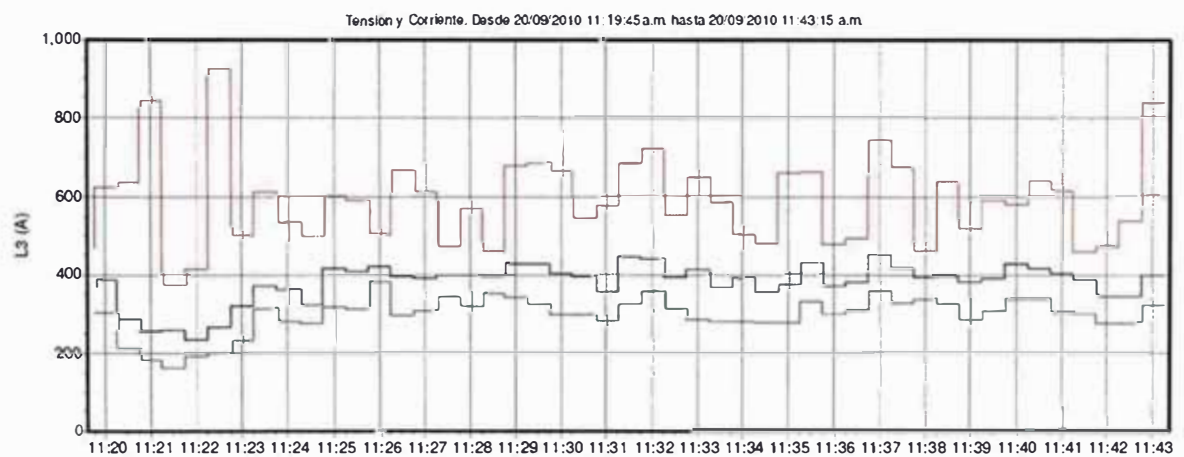
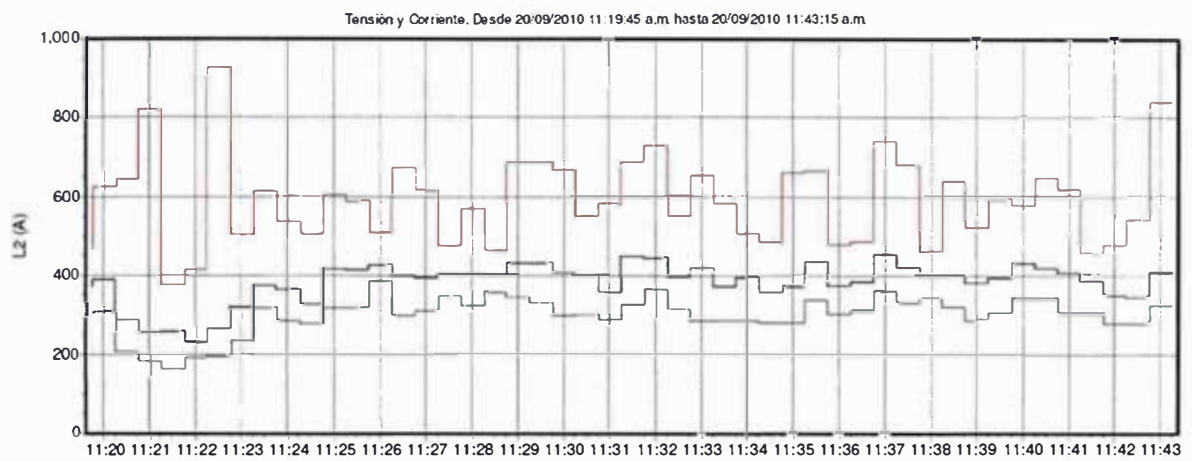
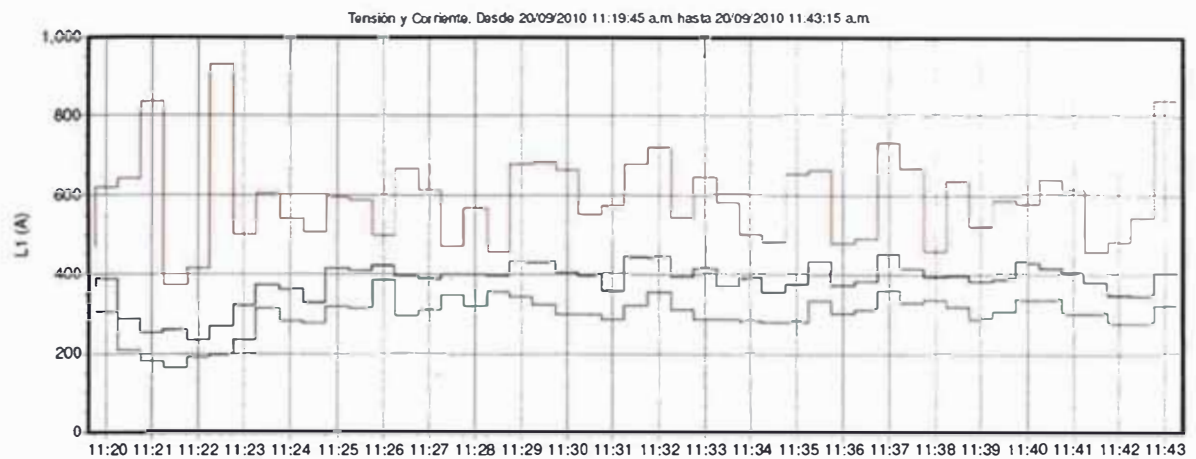
Fig. 3.2. Analizador Fluke 435 con todos sus accesorios.

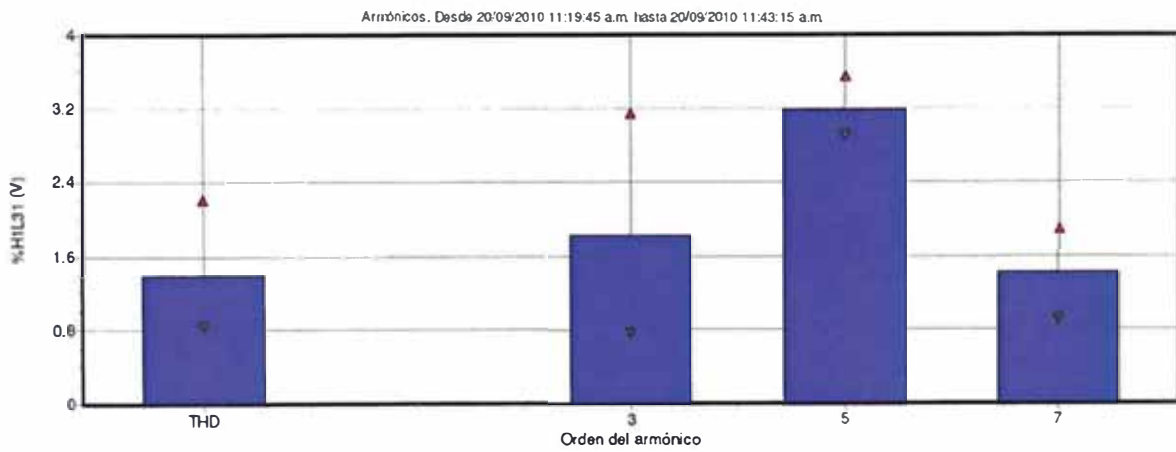
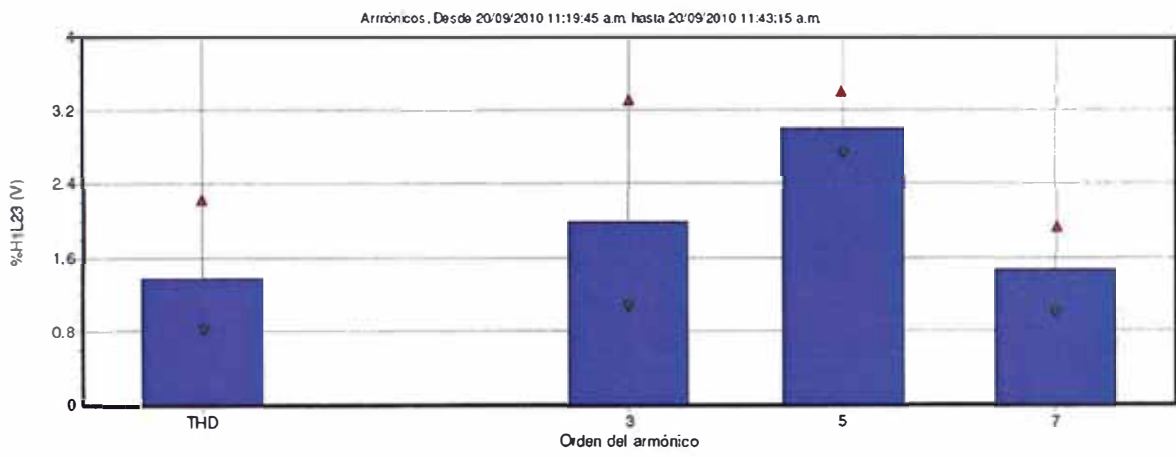
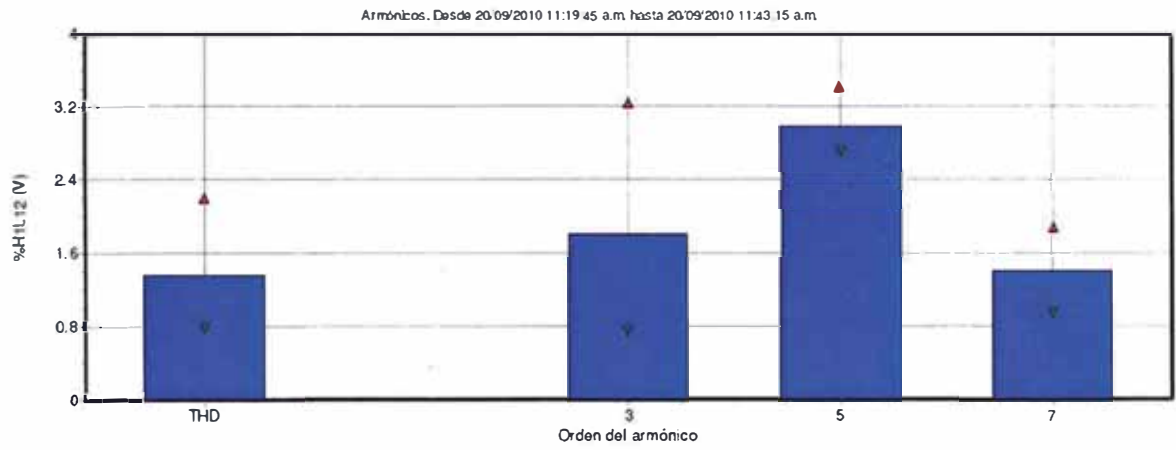
3.5. RESULTADO DE LAS MEDICIONES

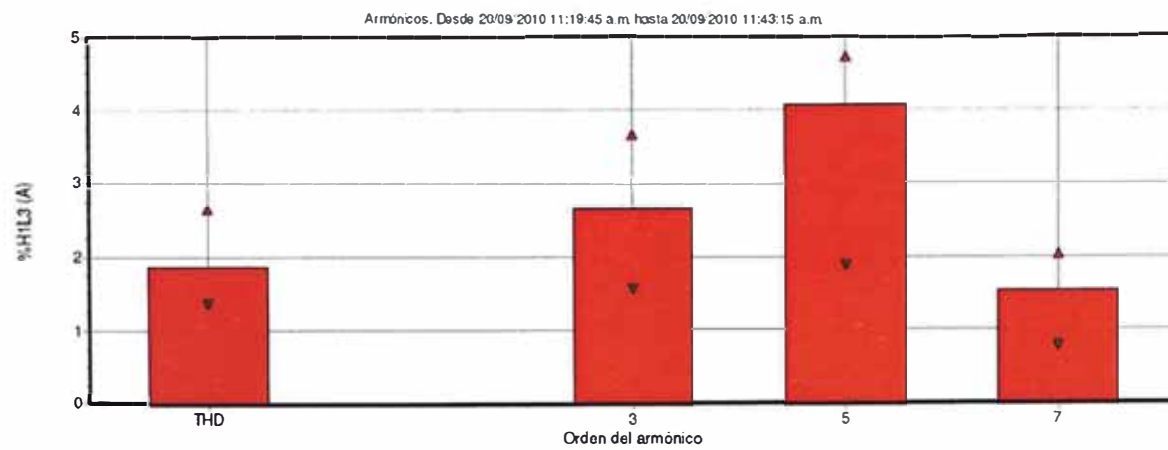
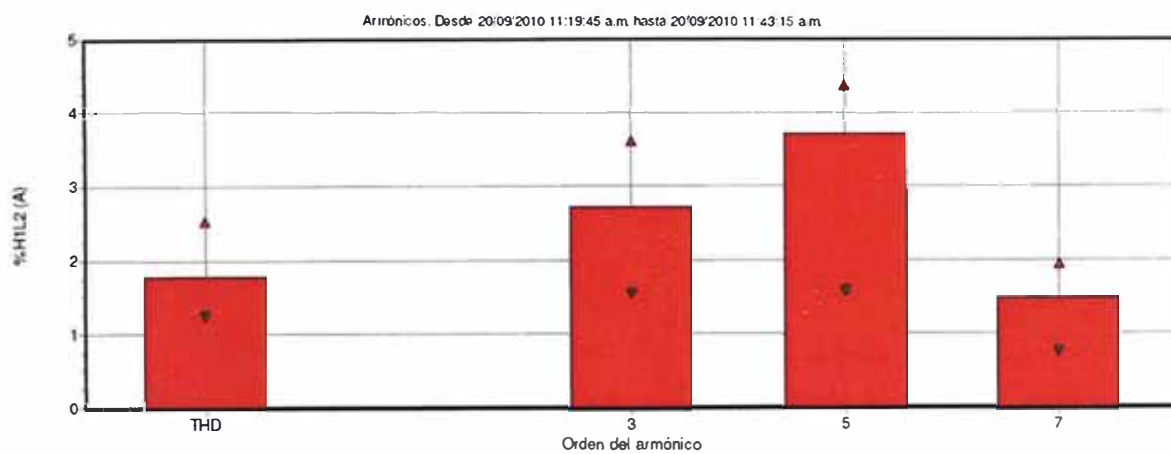
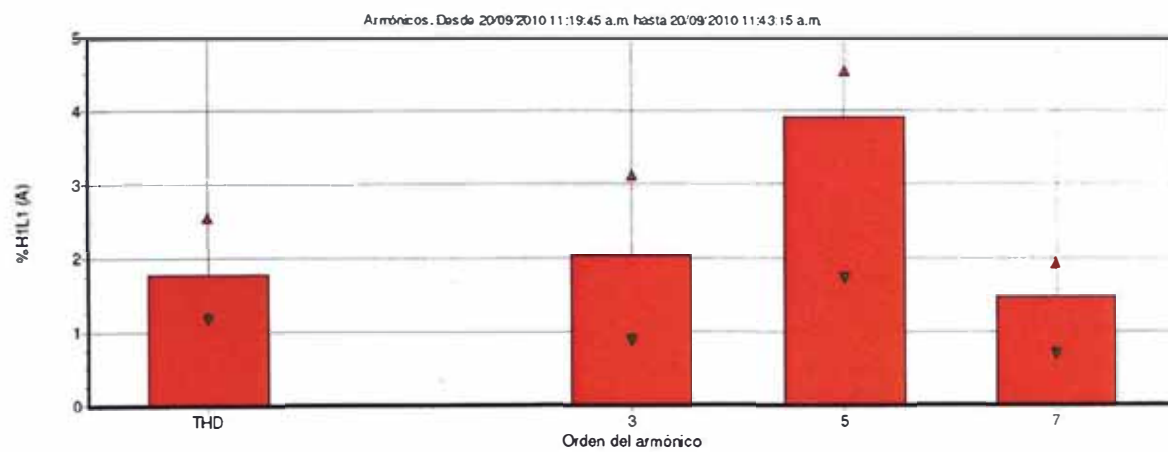
Las mediciones obtenidas fueron las siguientes:

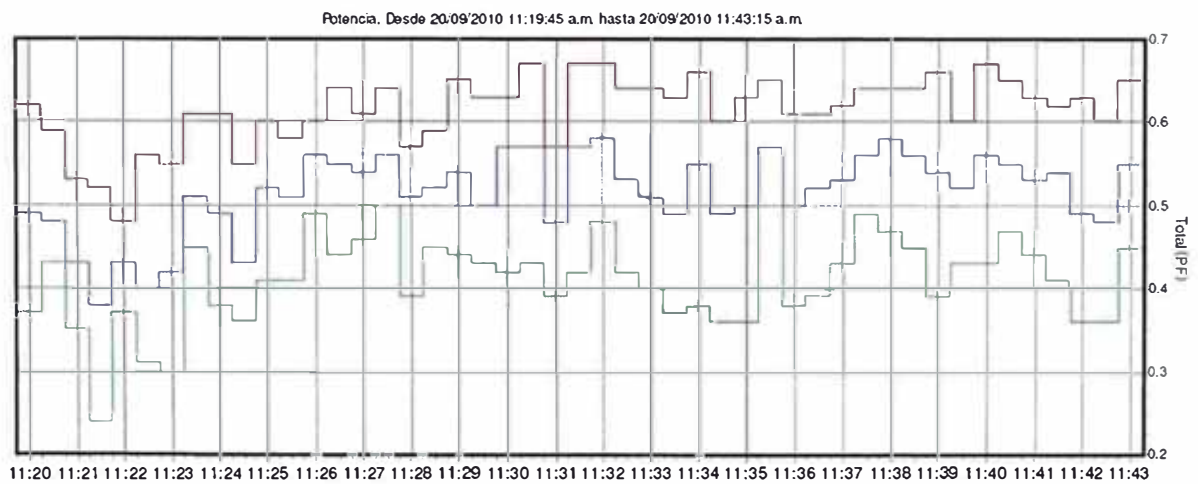
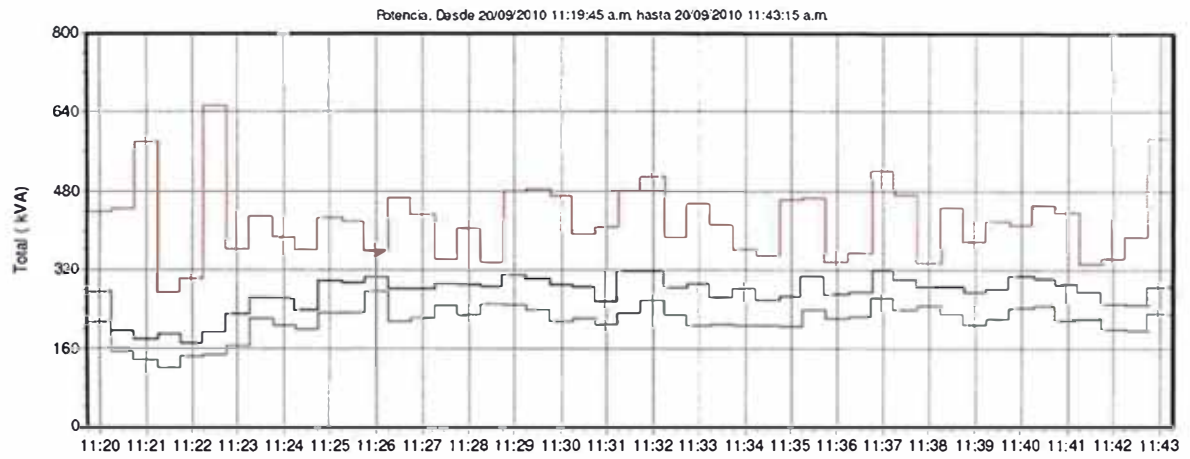
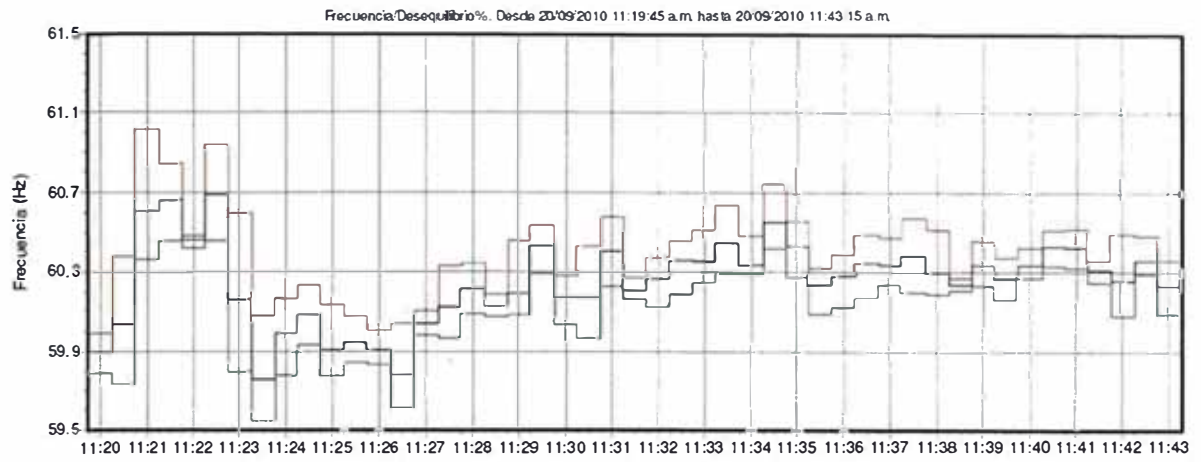
3.5.1. Para el transformador de 630 kVA.



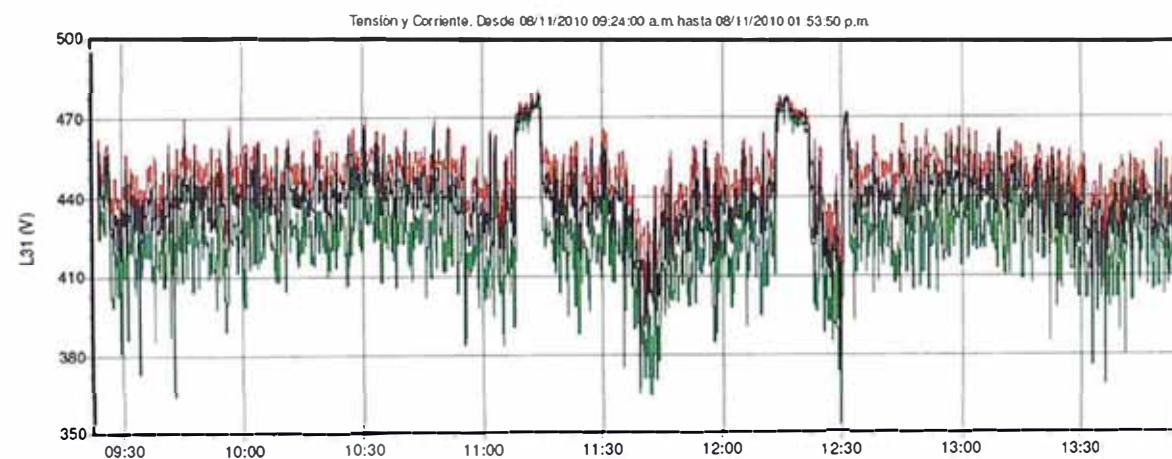
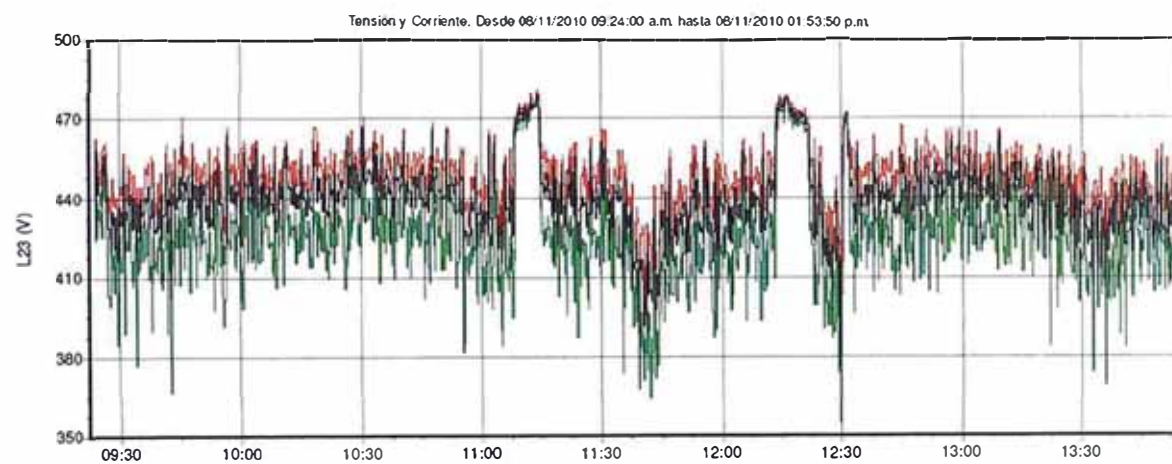
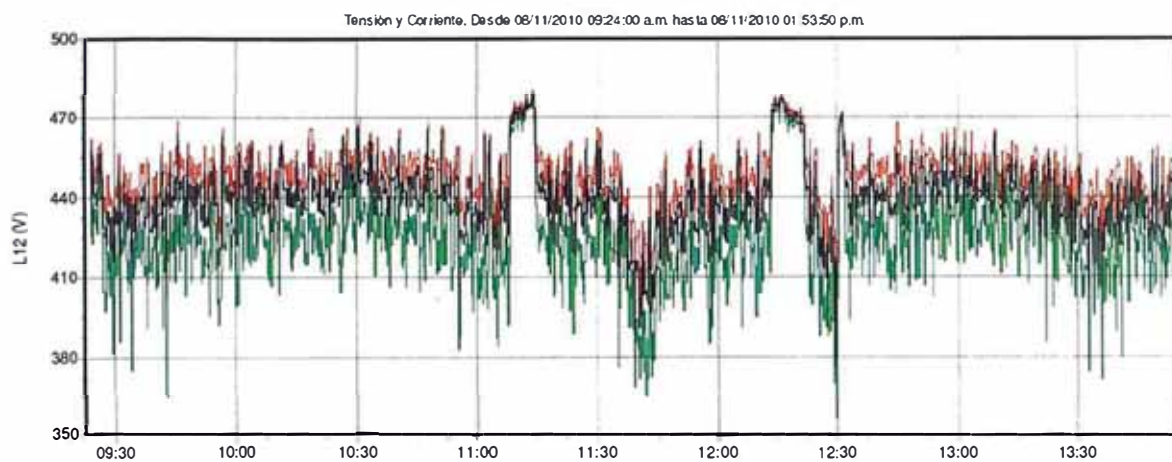


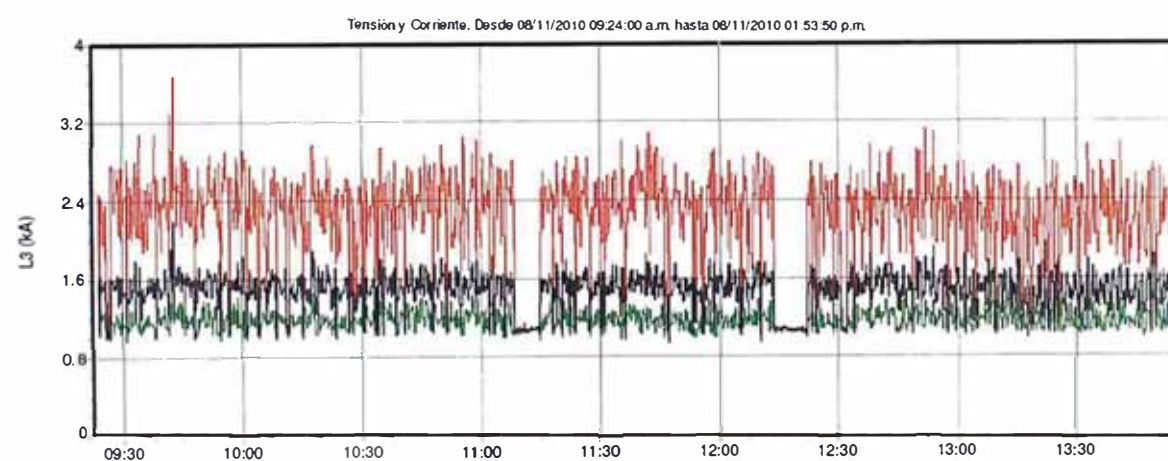
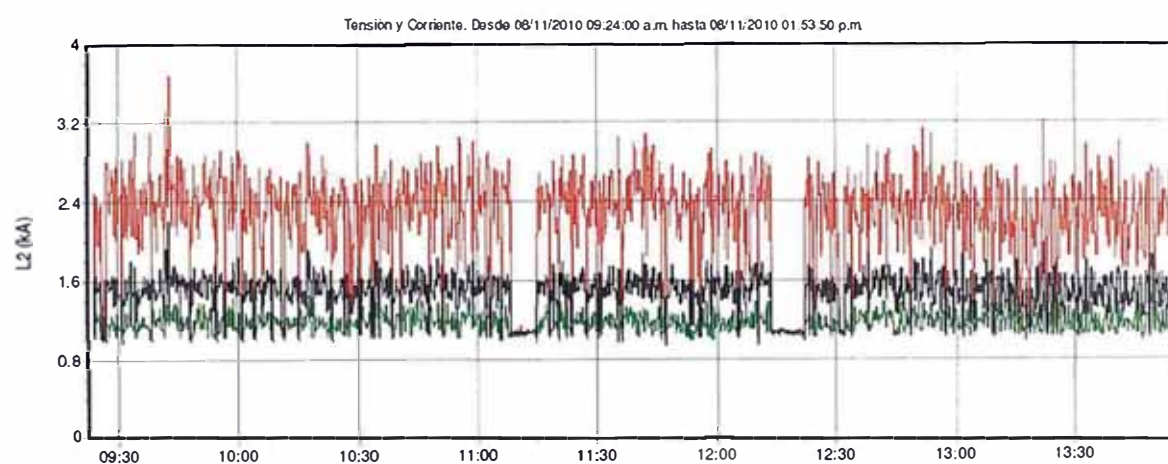
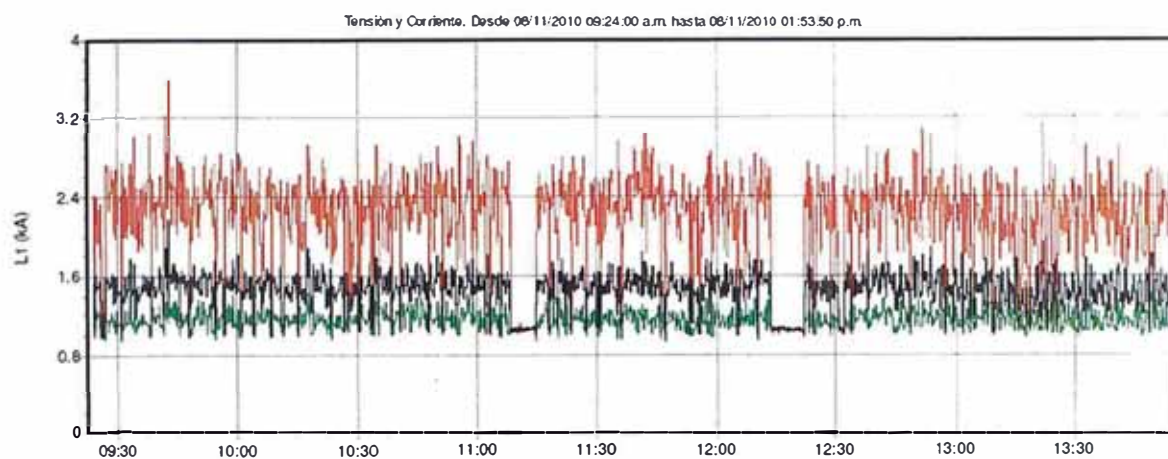


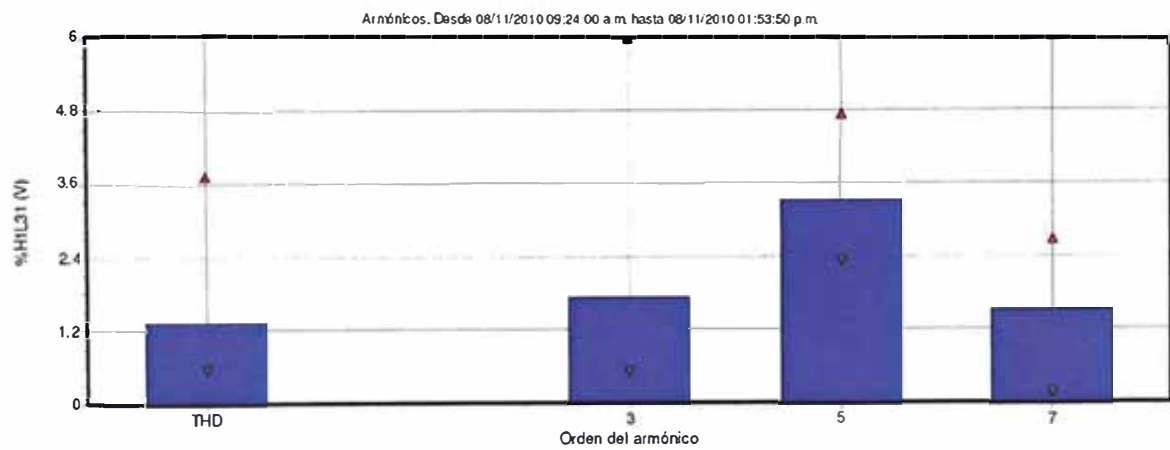
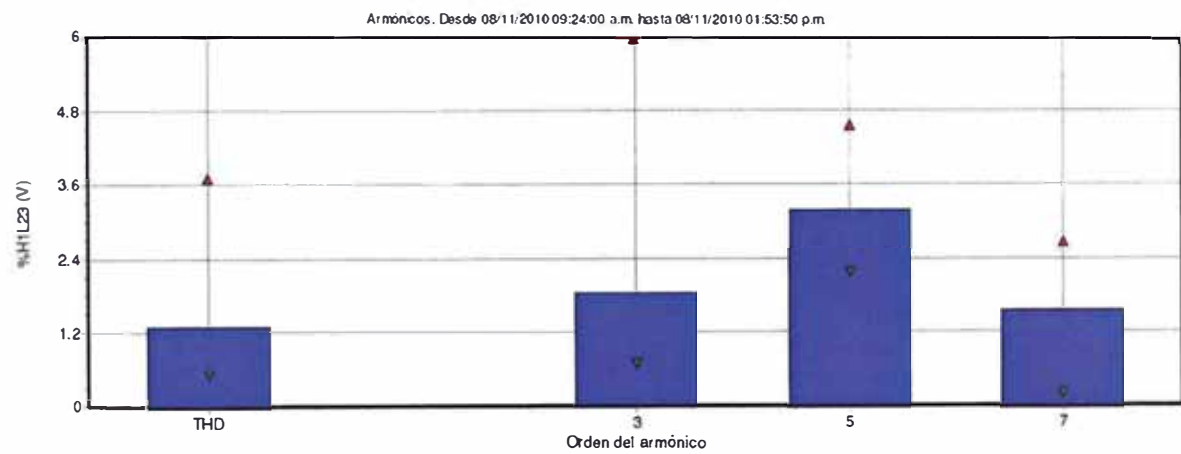
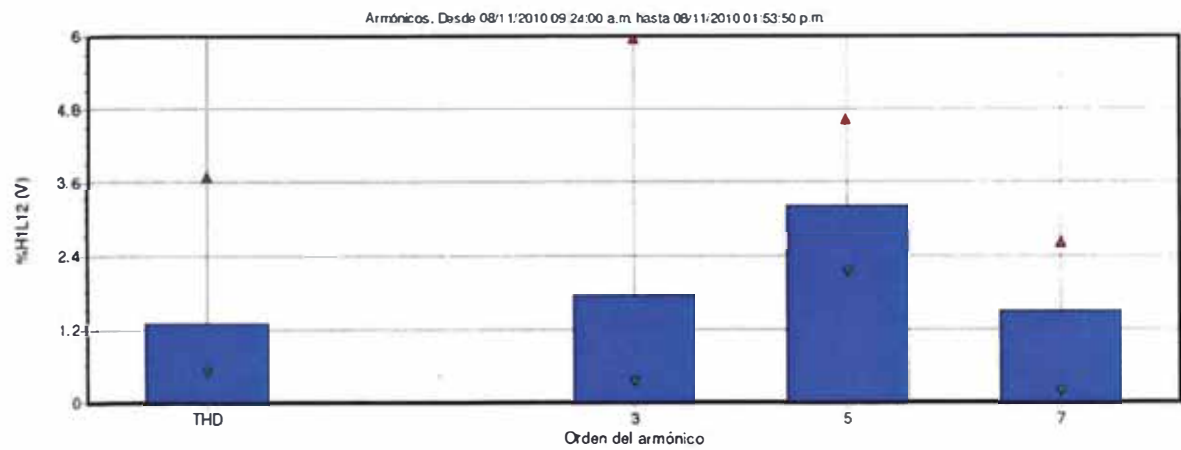


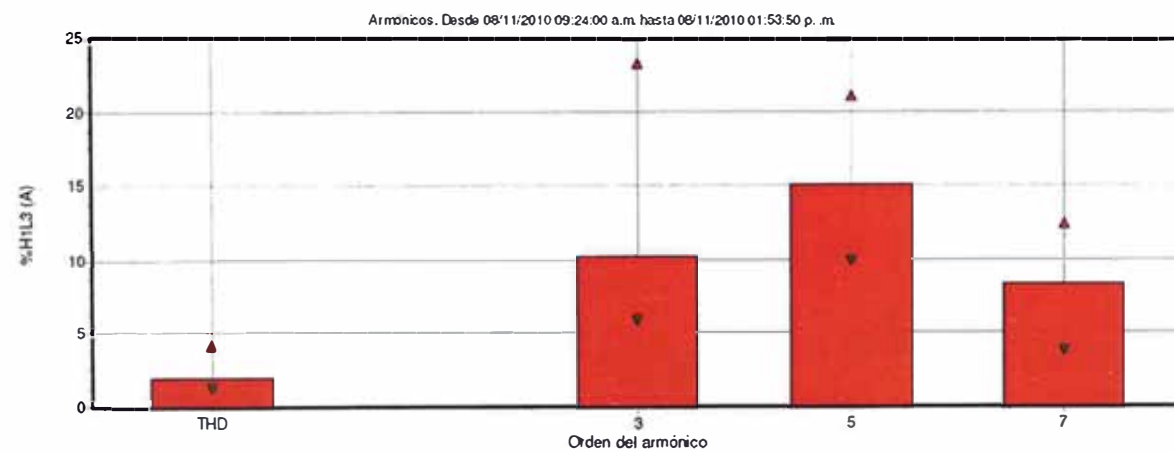
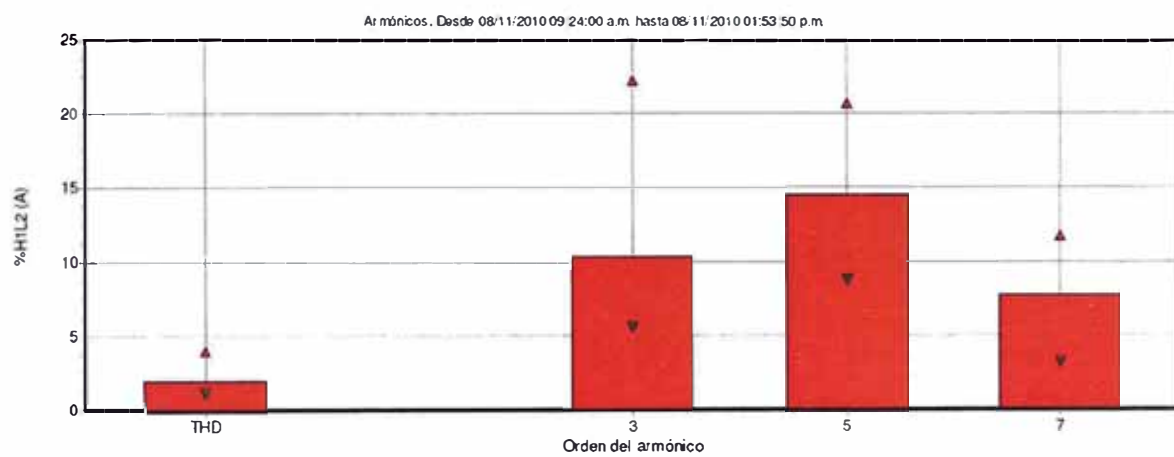
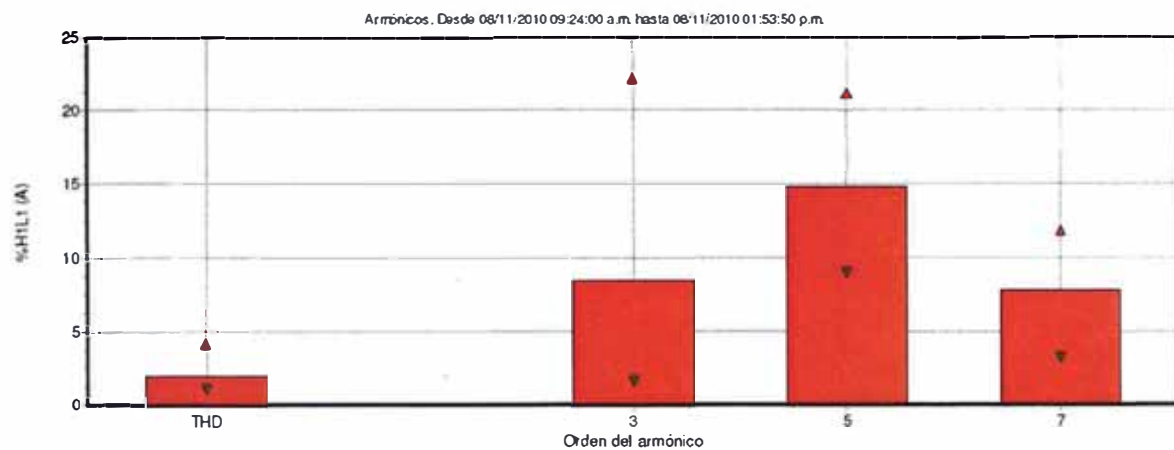


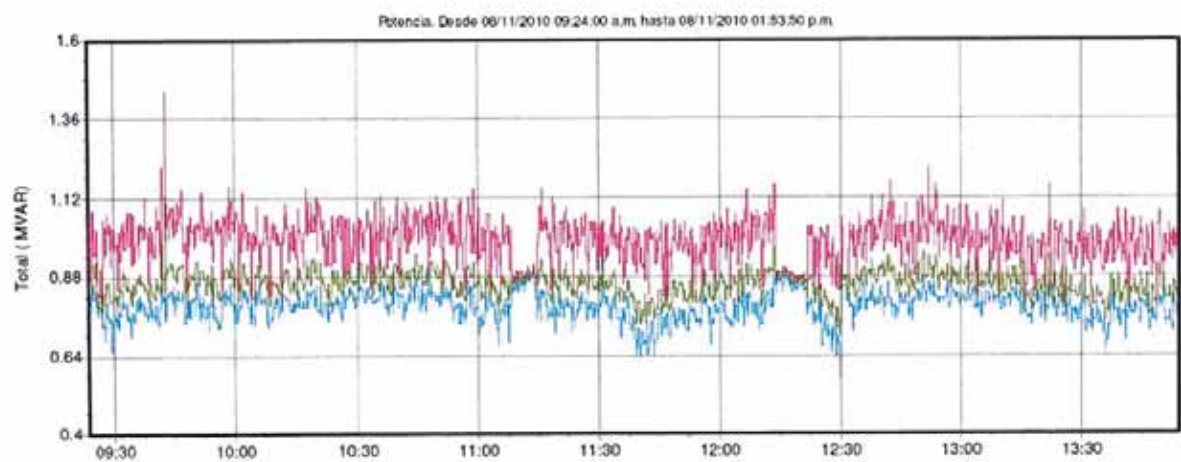
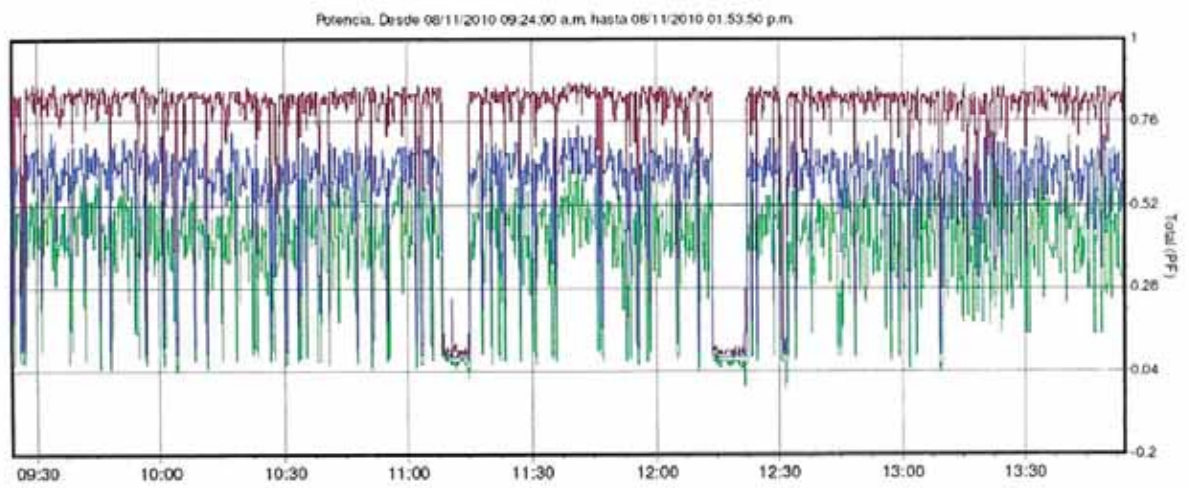
3.5.2. Para los transformadores en paralelo.











CAPÍTULO IV

ANÁLISIS TÉCNICO DE LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS

4.1. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA REACTIVA

Como se pudo ver en el Capítulo II, podemos encontrar la potencia reactiva a compensar de las siguientes maneras:

- De acuerdo a las mediciones realizadas
- De acuerdo a las fórmulas

Para fines aplicativos, en las mediciones mostradas en el Capítulo III se ha dejado cierta información a fin de poder usar ambos métodos.

4.1.1. De acuerdo a las mediciones realizadas.

Para los dos transformadores en paralelo se tiene que la lectura es directa y el valor mostrado en el reporte será la cantidad de potencia reactiva necesaria.

De acuerdo a las gráficas, se tienen valores máximos, medios y mínimos, para finalidad de este análisis se escogerá el promedio de los datos que sean más críticos para la instalación.

- $F_{dp} = 0.5$

- Potencia Reactiva = 1 MVAR

4.1.2. De acuerdo a las fórmulas.

Para poder aplicar este método, necesitamos recabar toda la información disponible de las mediciones mostradas en el capítulo III.

De acuerdo a las gráficas, se tienen valores máximos, medios y mínimos, para finalidad de este análisis se escogerá el promedio de los datos que sean más críticos para la instalación

- $Fdp = 0.4$
- Potencia Aparente = 400 kVA

Con estos datos, obtenemos la potencia reactiva usando el triángulo de potencias de la Fig. 2.1.

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \text{ en donde } S \text{ y } \cos\phi \text{ se conocen:}$$

$$P = 160 \text{ kW}$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 366 \text{ kVAR}$$

4.2. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

De acuerdo a lo mostrado en el Capítulo II, se evaluará la calidad del suministro para ambos puntos de medición:

4.2.1. Para el transformador de 630 kVA

- No se ha llegado a la tensión de suministro de 440 Vac, ya que la media es 420; sin embargo esta se encuentra dentro de los límites permitidos por encontrarse dentro de 5% de tolerancia de tensión.

- La variación de frecuencia también está dentro de los límites permitidos ya que la variación no es mayor a 1 Hz.
- Los valores de THDv se encuentran dentro de los límites permitidos ya que los parámetros máximos son 8%.

4.2.2. Para los transformadores en paralelo

- Se ha llegado a la tensión de suministro de 440 Vac, ya que la media es 440; sin embargo se encuentran puntos para los cuales la caída de tensión sobrepasa los límites y se tiene 380 Vac.
- La variación de frecuencia también está dentro de los límites permitidos para la mayor parte del período de medición ya que la variación no es mayor a 1 Hz. Pero en otros puntos sufre una caída en la frecuencia por lo que sale de los parámetros dados.
- Los valores de THDv se encuentran dentro de los límites permitidos ya que los parámetros máximos son 8%.

4.3. DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE CONDENSADORES

4.3.1. Determinación de la potencia

Con los datos calculados en la sección 4.1 y las fórmulas descritas en el capítulo II, procederemos a obtener las potencias para cada banco de condensadores. Para fines de cálculo se tiene pensado tener un factor de potencia final de 0.98.

4.3.1.1. Para el transformador de 630 kVA.

Considerando la ecuación 2.7. tenemos:

$$Q_C = Q_{act} - Q_{des} = 366 - P \times \tan(\cos^{-1} 0.98)$$

$$Q_C = 366 - \frac{Q_{act}}{\tan(\cos^{-1} 0.4)} \times \tan(\cos^{-1} 0.98)$$

$$Q_C = 333.6kVAR$$

4.3.1.2. Para los transformadores en paralelo.

Considerando la ecuación 2.7. tenemos:

$$Q_C = Q_{act} - Q_{des} = 1000 - P \times \tan(\cos^{-1} 0.98)$$

$$Q_C = 1000 - \frac{Q_{act}}{\tan(\cos^{-1} 0.5)} \times \tan(\cos^{-1} 0.98)$$

$$Q_C = 882.76kVAR$$

4.3.2. **Determinación del número de pasos**

En base a lo calculado en el punto anterior, esta será la potencia a compensar por los bancos de condensadores.

Como la tensión de fábrica de los condensadores ABB es de 480 Vac, se tendrá que calcular la potencia reactiva necesaria a la tensión de 480 Vac. Usando la siguiente fórmula:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

Con la nueva potencia reactiva se diseñará de acuerdo a los pasos disponibles por el regulador de factor de potencia.

4.3.2.1. Para el transformador de 630 kVA

Tabla 4.1 Cálculo de pasos para el banco de condensador para el transformador de 630 kVA.

Q_{req} =	333.6	KVAR	440	volt
Q_{fin} =	397.0	KVAR	480	volt
I_n =	438.26	478.10		
I_d =	657.38			
# pasos	8.00			
sec	cant	kvar	425	sobra -27.99
1	3	25	75	I_n = 512
2.5	3	50	150	I_d = 768
5	2	100	200	
0			0	
0			0	
0			0	

4.3.2.2. Para los transformadores en paralelo.

Tabla 4.2 Cálculo de pasos para el banco de condensador para los transformadores en paralelo.

Q_{req} =	882.76	KVAR	440	volt
Q_{fin} =	1,050.6	KVAR	480	volt
I_n =	1,159.70	1,265.12		
I_d =	1,739.54			
# pasos	12.00			
sec	cant	kvar	1060	sobra -9.44
1	3	20	60	I_n = 1,276
2.5	4	50	200	I_d = 1,915
5	2	100	200	
10	3	200	600	
0			0	
0			0	

En el anexo A-1, se detalla la cotización teniendo en consideración los pasos a fin de obtener la potencia deseada.

CAPÍTULO V
ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1. VIABILIDAD DEL BANCO DE CONDENSADORES – ESTUDIO ECONÓMICO

Teniendo en consideración los valores de potencia reactiva calculados en el Capítulo IV para ambos casos, según al Anexo A1 se tiene el siguiente cuadro de precios:

Tabla 5.1. Cuadro de precios

Pos.	Cant.	Descripción	V.V. Unitario US \$	Sub Total US \$
1	1	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO DE 882.76KVAR, 440V, 3F, 60Hz.	31,000.00	31,000.00
2	1	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO DE 333.6KVAR, 440V, 3F, 60Hz.	13,000.00	13,000.00
Valor Total en US \$.				44,000.00

Ahora procederemos a evaluar la rentabilidad del proyecto, calculando tanto el tiempo para la recuperación de la inversión, así como la tasa interna de recuperación.

Cabe indicar como se explicó en el capítulo III, que las instalaciones estudiadas son de la azucarera Pomalca, ellos al poseer grupos generadores no consumen energía reactiva de la red por lo que no pagan penalidad por exceso de esta. Para fines de cálculo consideraremos lo siguiente:

- Tiempo de trabajo diario: 24 horas
- Días al mes: 21 días
- Costo kVAR/h = 0.01225 \$

5.1.1. Valor Actual Neto (VAN)

Teniendo en consideración los datos listados, pasaremos a calcular el beneficio anual:

$$\Delta E_r = Q_c \times t = 333.6 + 882.6 \text{ kVAR} \times 24 \frac{h}{\text{dia}} \times 21 \frac{\text{dia}}{\text{mes}} \times 1 \text{ mes}$$

$$\Delta E_r = 7,355,578 \text{ kVARh}$$

$$\text{Beneficio} = \frac{0.01225\$}{\text{kVAR/h}} \times \Delta E_r = \$7,508.82 \text{ mensuales}$$

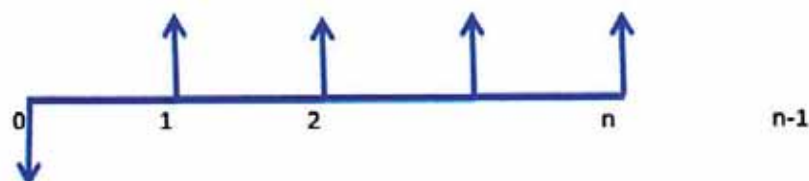
Considerando un tiempo de vida útil del banco de 5 años y una tasa de recuperación para los trabajos eléctricos de 1% mensual, tenemos:

I (\$)	42,500.00
A (\$)	7,508.80

i	0.01	mensual
n	60.00	año

VP	337,558.39
----	------------

VAN	295,058.39
-----	------------



$$VAN = -I + \frac{A}{(1+\alpha)} + \frac{A}{(1+\alpha)^2} + \frac{A}{(1+\alpha)^3} + \frac{A}{(1+\alpha)^4} + \frac{A}{(1+\alpha)^5}$$

De la misma ecuación podemos averiguar el tiempo de recuperación de la inversión para el cual el VAN se hace cero.

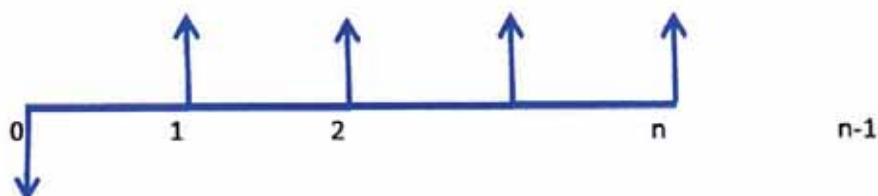
Para eso, tendremos que calcular el valor de "n" en la siguiente ecuación:

$$0 = -I + \frac{A}{(1+\alpha)} + \frac{A}{(1+\alpha)^2} + \frac{A}{(1+\alpha)^3} + \dots + \frac{A}{(1+\alpha)^n}$$

I (\$)	42,500.00
A (\$)	7,508.80

i 0.01 mensual
n ?? meses

n 5.86 meses



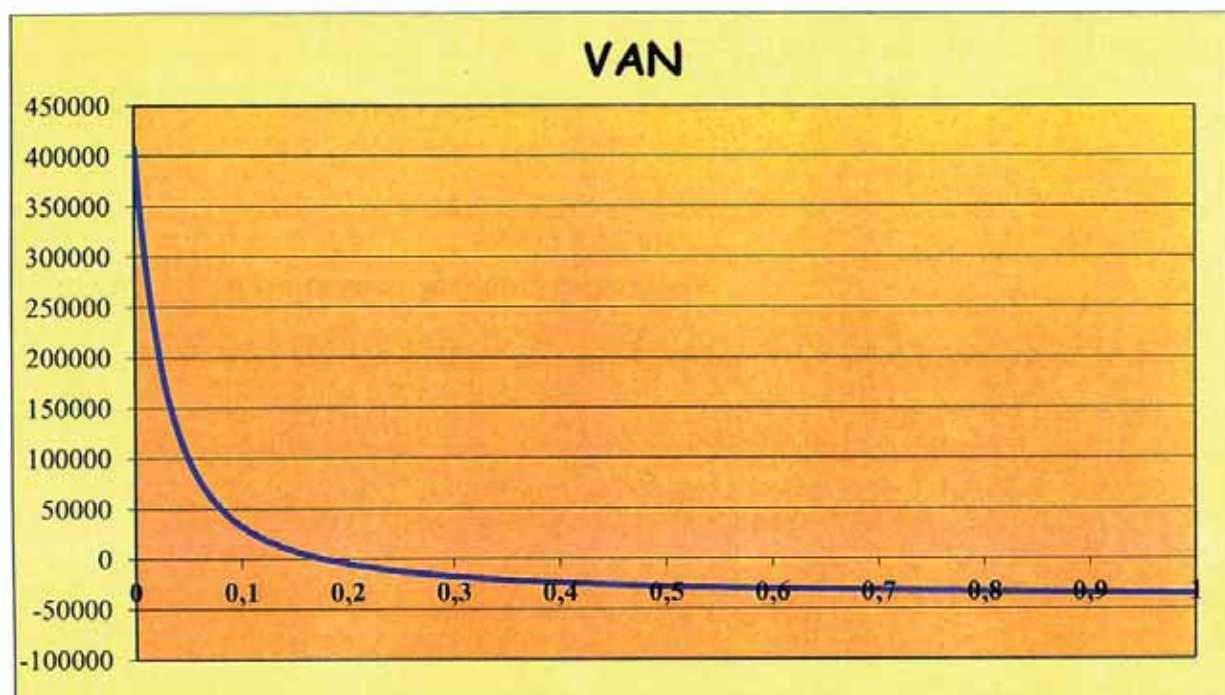
5.1.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para calcular el TIR, deberemos de calcular cual es la tasa para la cual el VAN es cero dentro del periodo de tiempo de vida útil.

$$VAN = 0 = -I + \frac{A}{(1 + TIR)} + \frac{A}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{A}{(1 + TIR)^{60}}$$

Iterando en la fórmula tenemos:

TASA INTERNA DE RENTABILIDAD		
TIR 2	17.67%	efectivo mensual



Gráfica 5.1 Curva Iterativa para calcular la TIR.

5.2. OPTIMIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Como hemos visto en el Capítulo II, el hecho de compensar la energía reactiva no solo trae consigo evitar las penalidades, adicionalmente optimizaremos las instalaciones eléctricas como se verán a continuación.

5.2.1. Para Transformador de 630 kVA.

Con los datos calculados en el capítulo IV, vamos a ver cuánto será la potencia aparente real después de la compensación.

$$P = 160 \text{ kW}$$

$$Q_f = Q_1 - Q_{bco.} = 366 - 333.6 = 32.4 \text{ kVAR}$$

$$S_f = \sqrt{P^2 + Q_f^2} = 163.25 \text{ kVA}$$

$$\Delta S = S_i - S_f = 236.75 \text{ kVA}$$

$$\therefore \% \text{recuperación} = \frac{\Delta S}{S_{nom}} = \frac{236.75}{630} = 37.5\%$$

5.2.2. Para transformadores en paralelo.

Con los datos calculados en el capítulo IV, vamos a ver cuánto será la potencia aparente real después de la compensación.

$$Q_f = Q_i - Q_{bco.} = 1000 - 882.76 = 117.24 \text{ kVAR}$$

$$P = \frac{Q_i}{\tan(\cos^{-1} 0.5)} = 577.35 \text{ kW}$$

$$S_f = \sqrt{P^2 + Q_f^2} = 600 \text{ kVA}$$

$$\Delta S = S_i - S_f = 554.7 \text{ kVA}$$

$$\therefore \% \text{recuperación} = \frac{\Delta S}{S_{nom}} = \frac{554.7}{1750} = 31.69\%$$

CONCLUSIONES

1. El factor de potencia actual en la planta está muy por debajo del factor de potencia óptimo, ya que se tiene un factor de potencia de 0.4 y 0.5 cuando lo óptimo sería tener un factor de potencia de 0.98
2. Según las mediciones realizadas, podemos concluir que pese al factor de potencia desfavorable, el resto de parámetros eléctricos estipulados en la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE) en lo referente a la calidad de suministro se encuentran dentro de los parámetros requeridos.
3. Para poder elevar el factor de potencia será necesario la instalación de 02 (Dos) bancos de condensadores, uno a la salida del transformador de 630 kVA y otro a la salida de los transformadores en paralelo (1000 y 750 kVA). La potencia de dichos bancos serán de 336.6 kVAR y 882.76 kVAR respectivamente.
4. Se ha podido comprobar que la implementación de los bancos de condensadores es económicamente viable, ya que por el comportamiento de la carga y el costo de inversión de los bancos de condensadores, estos se pagarían en menos de 6 meses. Adicionalmente, se observa que la tasa interna de retorno (TIR) es mucho mayor a la tasa de recuperación para los trabajos eléctricos por lo que reafirma la viabilidad del proyecto.

5. Se puede concluir adicionalmente que el hecho de la implementación de los bancos de condensadores, no solo evitaría las penalidades y el ahorro consecuente de dinero por concepto de energía reactiva, sino que optimizaría la instalación eléctrica obteniéndose para el transformador de 630 kVA una disponibilidad de carga adicional del 37.5% y para los transformadores en paralelo un posibilidad adicional de 31.69%.

RECOMENDACIONES

1. Por lo expuesto en el presente informe de suficiencia se recomienda la instalación inmediata de los bancos de condensadores por todos los beneficios expuestos.
2. A fin de sustentar la viabilidad del proyecto frente a la gerencia, se aconseja resaltar los beneficios eléctricos que conllevaría la implementación de los bancos, ya que ellos serán medibles en comparación con los beneficios económico ya que estos han sido calculados solo por fines del informe.
3. En caso se incremente las cargas en la instalación, se recomienda realizar un nuevo análisis considerando esta modificación, a fin que estas cargas no afecten a los bancos de condensadores por efecto de resonancia.

BIBLIOGRAFÍA

- Cuaderno de Aplicaciones Técnicas ABB N° 8
Corrección del factor de potencia y filtrado de armónicos en las instalaciones eléctricas
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos
Última modificación según DS N° 040-2001 Jul/2001
- Manual de Calidad de la Energía
Programa de Capacitación continua TECSUP
- Manual de Ingeniería Eléctrica
Décima Tercera Edición, Tomos I, II, III y IV, McGraw-Hill, 1993
- Power System Harmonics
Second Edition, J. Arrillaga, N.R. Watson 2003
- IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensations of Static Power Convers.
IEEE Project No.519, July, 1979, Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc.

ANEXO

ANEXO I

	Cotización No. ATAP - 831471
Señores.: EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A. Av. Brasil 2728 Presente.- Telf.: 460-0779/074-416257 Fax : 461-0164	
	Nuestra Ref: 831471 Fecha: Lima, 12-11-2010
Asunto	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO DE 882.76 KVAR, 333.6 KVAR, 440V-60HZ-3Ø
Cliente	EMPRESA AGROINDUSTRIAL POMALCA S.A.
Precios	Son firmes y están expresados en Dólares Americanos; forman parte integral de la oferta nuestros Términos y Condiciones Generales de Suministros, anexas; que se dan por aceptadas al momento de recepcionar su orden de compra.
Impuestos	Los precios indicados no incluyen el Impuesto General a las Ventas (IGV).
Validez	La presente cotización es válida por 30 días a partir de su fecha de emisión: siempre y cuando se realice el pago del adelanto, dentro de la validez de la oferta.
Alcance del Suministro	Como se indica en la descripción y en las condiciones comerciales adjuntas.
Forma de Pago	Como se indica en la descripción y en las condiciones comerciales adjuntas.
Plazo de entrega	Como se indica en la descripción y en las condiciones comerciales adjuntas.
Montaje	No incluido.
Puesta en servicio	No incluido.
Garantía	Ver Términos y Condiciones Generales de Suministros, anexa.
Comentarios	No está comprendido en los alcances de esta oferta lo que expresamente no se ha mencionado por escrito.
Esta propuesta contiene	15 páginas

Catálogo técnico

Emax

Interruptores automáticos
abiertos de baja tensión

1TXA200006D0701



ABB

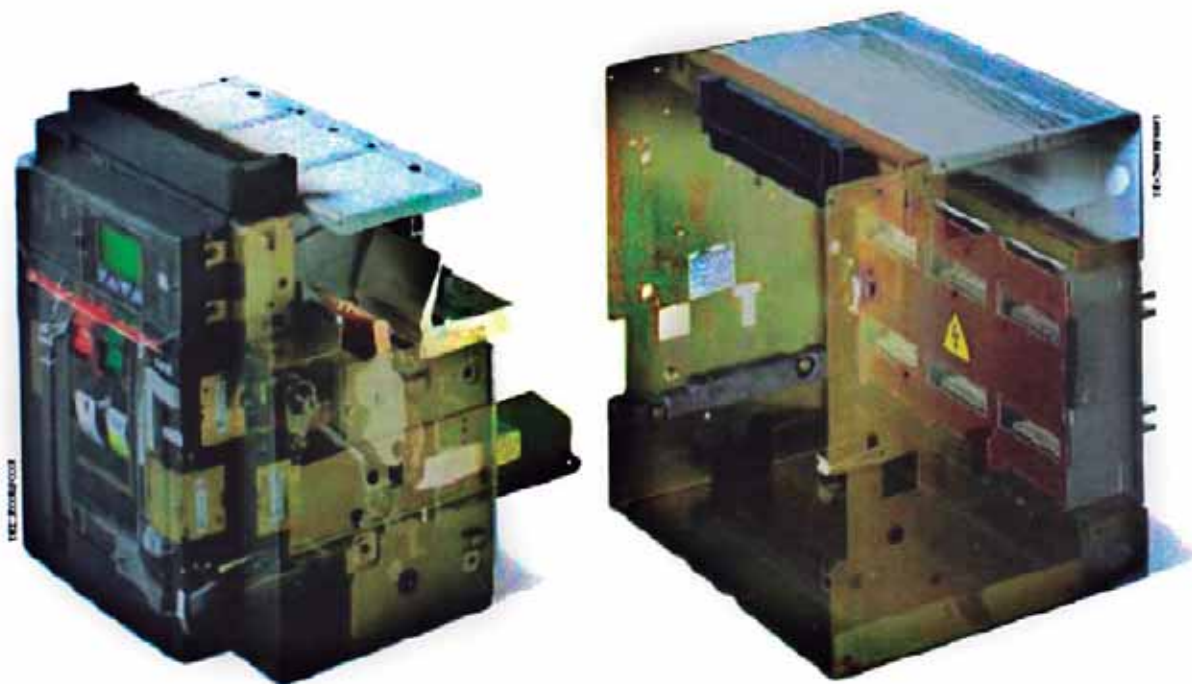


Características constructivas

Estructura de los interruptores automáticos

La estructura del interruptor automático, fabricada con chapa de acero, es extremadamente compacta y con unas dimensiones reducidas. La seguridad esta reforzada por el empleo del doble aislamiento en las partes bajo tension y por la segregación completa de las fases. En cuanto a las dimensiones, los interruptores de la misma ejecución se caracterizan por presentar alturas y profundidades iguales. La profundidad de la ejecución extraíble permite su instalación en cuadros con una profundidad de 500 mm.

La anchura de 324 mm (hasta 2000 A) en la ejecución extraíble permite el uso en aparatos en celdas de cuadros con 400 mm de anchura. Las dimensiones reducidas permiten, además, la sustitución de los interruptores automáticos abiertos de las precedentes series de cualquier modelo.





Características constructivas

Órganos de maniobra y señalización

Ejecución fija

1



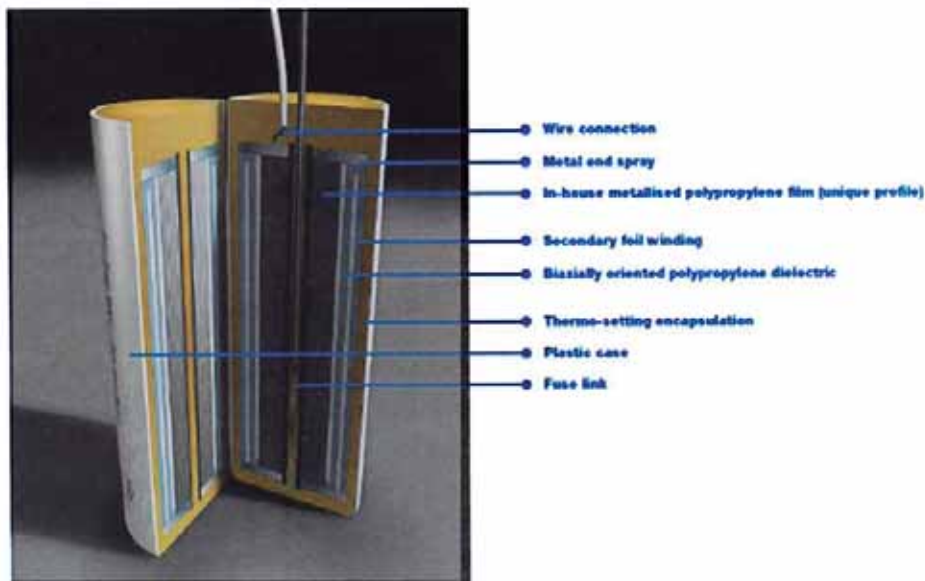
Leyenda

- | | |
|----|--|
| 1 | Marca de fábrica y tamaño de interruptor automático |
| 2 | Relé SACE PR121, PR122 o PR123 |
| 3 | Pulsador para la maniobra manual de apertura |
| 4 | Pulsador para la maniobra manual de cierre |
| 5 | Palanca para la carga manual de los resortes de cierre |
| 6 | Etiqueta con las características eléctricas |
| 7 | Indicador mecánico de interruptor automático abierto "O" y cerrado "I" |
| 8 | Indicador de resortes cargados + descargados |
| 9 | Indicador mecánico de actuación del relé de protección |
| 10 | Bloqueo a llave en posición de abierto |
| 11 | Bloqueo a llave y por candado en posición de insertado/extraído (sólo para ejecución extraíble) |
| 12 | Dispositivos para las maniobras de inserción/extracción (sólo para ejecución extraíble) |
| 13 | Placa de bornes (sólo para ejecución fija) |
| 14 | Contactos deslizantes (sólo para ejecución extraíble) |
| 15 | Indicador de la posición del interruptor automático insertado/Extraído prueba/Extraído (sólo para ejecución extraíble) |

CLMD: reliability for power factor correction

CLMD construction

- The CLMD capacitor consists of a number of wound elements made with a dielectric of metallized polypropylene film. These dry windings are provided with a sequential disconnecter ensuring that each element can be reliably and selectively disconnected from the circuit at the end of its life.
- The capacitor elements receive a treatment under vacuum in order to ensure perfect electrical characteristics. Each winding is placed in a plastic case and encapsulated in thermo-setting resine in order to obtain a perfectly sealed element.
- The elements are placed inside a sheet steel box and connected in such a way as to supply the single or three-phase power at the required voltage and frequency.
- The sheet steel box is filled with inorganic, inert and fire proof granules in order to absorb the energy produced or to extinguish any flames in case of a possible defect at the end of an element's life. The CLMD is also provided with thermal equalizers to ensure effective heat dissipation.



High performance in-house metallised film

ABB's completely integrated manufacturing process has resulted in the development of the special ABB high-performance film of which all ABB LV. capacitors benefit:

- high breakdown strength
- excellent peak current handling capability
- high capacitance stability
- optimal self heating design
- long life

Reliable and safe

■ Dry type design

The CLMD has a dry type dielectric and therefore cannot give any risk of leakage or pollution of the environment.

■ Very low losses

Dielectric losses are less than 0.2 Watt per kvar. Total losses, including discharge resistors, are less than 0.5 Watt per kvar.

■ Long life - Self-healing

In the event of a fault developing in the dielectric of the capacitor, the metallized electrode adjacent to the fault is immediately vaporized, thus insulating the fault. The capacitor then continues normal operation.

■ Fire protection

All capacitor elements within the CLMD capacitor are surrounded by vermiculite which is an inorganic, inert, fire proof and non toxic granular material. In the event of any failure the vermiculite absorbs safely the energy produced within the capacitor box and extinguishes any possible flames.

■ Unique protection system

A unique Sequential Protection System ensures that each individual element can be disconnected from the circuit at the end of its life.

■ Easy to install - Light weight

The CLMD capacitor is very lightweight and therefore presents no handling difficulties during installation.

■ High reliability

The CLMD capacitor complies with the requirements of IEC 851-1 & 2. The use of robust terminals removes the risk of damage during installation and reduces maintenance requirements.

■ Security

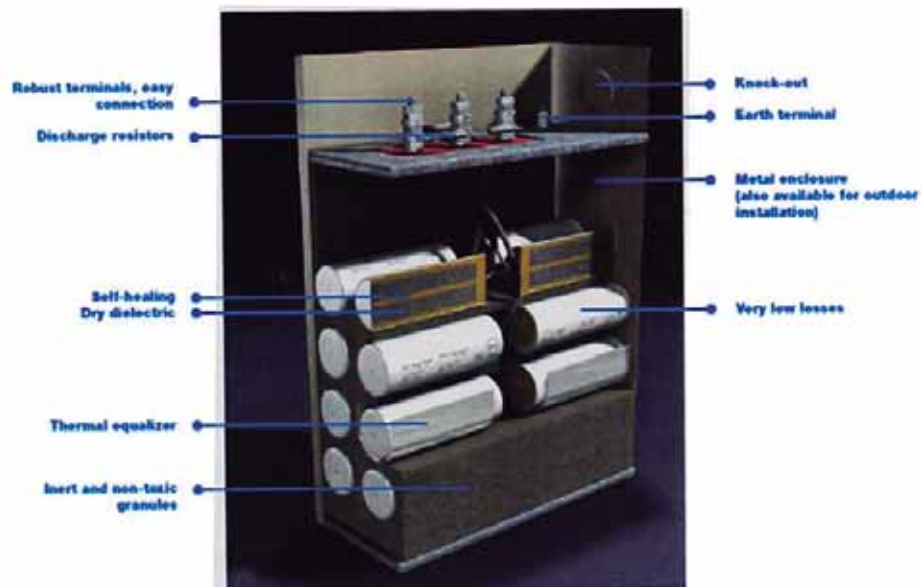
Thermal equalizers are fitted to surround each capacitor element and provide effective heat dissipation. The CLMD capacitor is equipped with discharge resistors.

■ ISO 9001

Our ISO 9001 Quality System registration provides the strongest assurance of our product quality.

■ ISO 14001

The CLMD capacitor has a dry type dielectric and is free from liquids or other impregnating agents. It has been designed for environmentally friendly manufacturing. Our ISO 14001 certification guarantees our commitment to the environment.



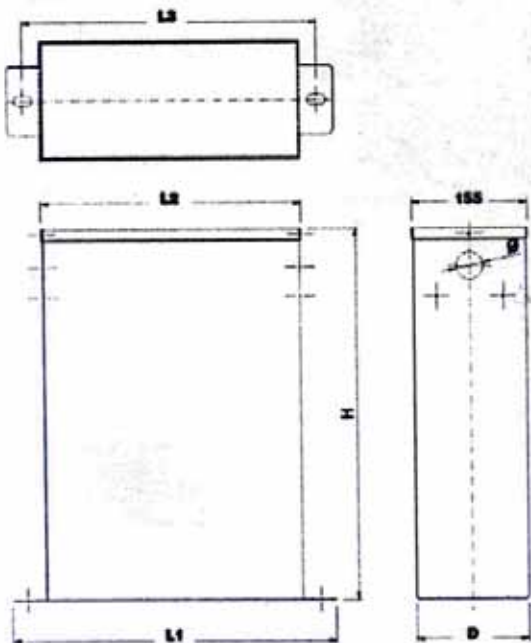
A comprehensive range - CLMD 43, 53, 63 & 83

The CLMD capacitor unit is designed in such a way to give the highest level of reliability, safety, performance and power all in a robust and compact fashion.



Dimensions

CLMD 43 - 53 - 63 - 83



TYPE	H (mm)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	D (mm)	Ø (mm)
CLMD 43	275	266	180	226	152	37
CLMD 53	310	436	350	396	152	37
CLMD 63	485	436	350	396	152	47
CLMD 83	670	436	350	396	152	47

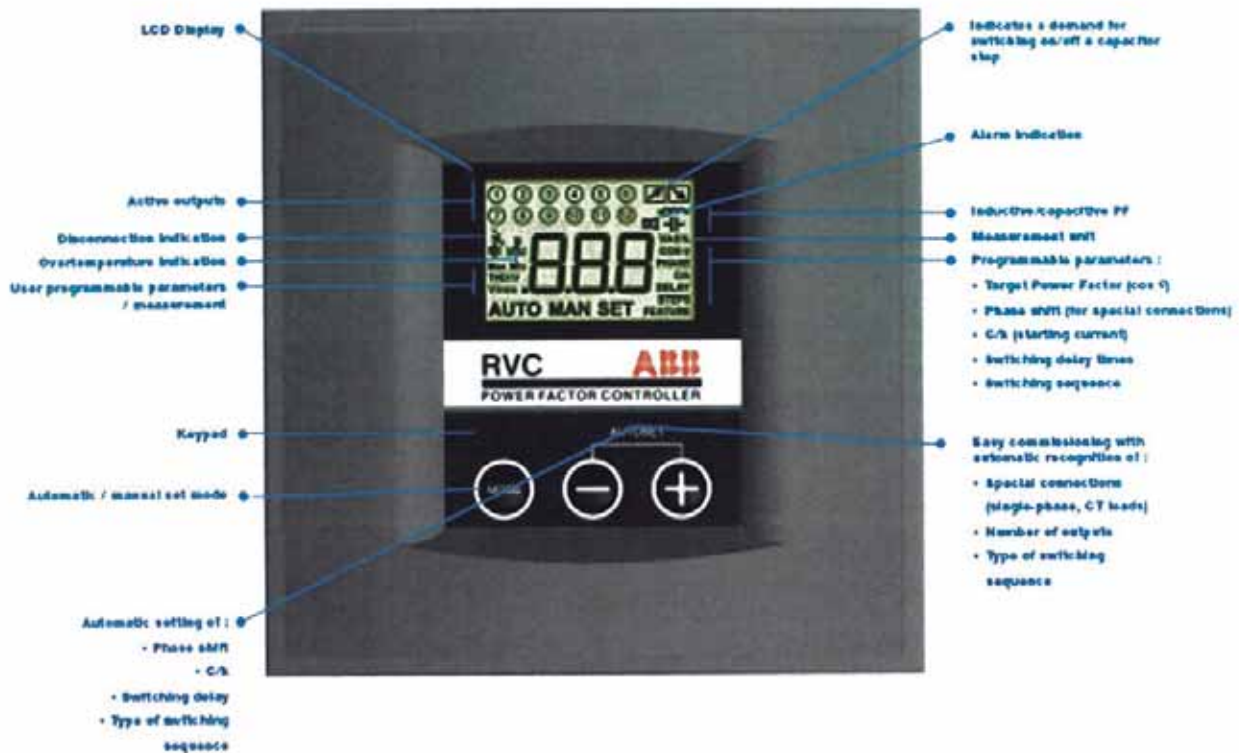
Power Factor Controller RVC

The user-friendly PF controller





RVC : The user-friendly PF controller



Powerful features

- Common range for all network voltages from 100V to 440V.
- Measurement and display of key parameters like voltage, current, power factor, THDV and THDI.
- Fully programmable switching sequence.
- 1A or 5A current input.
- Easy commissioning.
- Complete auto set-up (starting current-C/k, type of switching sequence, phase shift, special connections).
- Easy to use thanks to a user-friendly interface and ease of access to parameters for manual setting.
- Highly efficient switching strategy combining integral, direct and circular switching.
 - This allows to :
 - control the $\cos \varphi$ in presence of rapidly varying loads,
 - reduce the number of switching,
 - avoid unnecessary intermediary switchings,
 - increase the lifetime of the capacitors and contactors.
- Suitable for hot environments thanks to max. ambient temperature rating of 60°C.
- Not affected by the harmonics.
- Overvoltage / undervoltage protection and protections against harmonic distortion (THDV).
- Alarm : an alarm contact is opened when any of these conditions are reached:
 - the target $\cos \varphi$ is not reached within 6 minutes after all outputs have been switched on,
 - the internal temperature of the RVC rises above 85°C,
 - overvoltage / undervoltage limits are reached,
 - the power supply is out of range,
 - the THDV exceeds the limits.

PROPUESTA TÉCNICA

POS. 01 BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO DE 882.76 KVAR, 440V-60HZ-3Ø

Suministro de un (01) tablero del tipo Autosoportado, de ejecución modular, fabricado con estructura de plancha LAF doblada de 1.5 mm de espesor, provisto de puerta frontal de 2 mm. de espesor la cual llevará empaquetadura de neopreno en todo su perímetro, provista de bisagras y chapa con llave, protecciones laterales y techo plano ejecutadas en plancha LAF de 1.5 mm de espesor, grado de protección **IP55**.

El gabinete metálico será sometido a un tratamiento especial de limpieza de sus superficies y será protegido con dos capas de pintura base anticorrosiva zincromato de zinc de la mejor calidad, seguido finalmente por dos capas de acabado esmalte epóxico de secado al horno color gris claro **RAL7035 (Gris)**.

Dimensiones aproximadas:

Alto: 2100 mm.

Ancho: (3 – 800) mm

Fondo: 800 mm

Será montado y conexionado con los siguientes equipos eléctricos:

- 01 Interruptor Termomagnético, tripolar, tipo abierto, marca ABB Sace/Italia, serie Emax, tipo **E2N 2000 PR122/P LSI, In = 2,000 A, 65kA @ 440V, 1000V** de tensión de aislamiento, mando manual, ejecución fija, con relé de protección electrónico por:
 - Protección contra sobrecarga con intervención retardada a tiempo largo inverso (L), no excluible, regulable desde 0.4 a 1.0 In
 - Protección contra cortocircuito con intervención retardada a tiempo corto inverso (S), excluible, regulable desde 1.0 a 10 In
 - Protección contra cortocircuito con intervención instantánea (I), excluible, regulable desde 1.5 a 12
- 01 Regulador de Factor de Potencia, marca ABB Jumet/Bélgica, modelo: RVC, 110-440 V, 60 Hz., 5 A., 12 pasos.
- 03 **Paso de 16.8 kVAR en 440V, compuesto cada uno por:**
 - 01 Base portafusibles con fusibles NH tipo gL, de capacidad adecuada para proteger los condensadores, 100A, 500V.
 - 01 Condensador trifásico, dieléctrico seco, con resistencia de descarga, uso interior, marca ABB Jumet/Bélgica, modelo **CLMD43, 20KVAR, 480V, trifásico, 60Hz, IP42.**
 - 01 Contactor tripolar, marca ABB Control/Francia, modelo **UA30-30-00 RA, 30 kVAR/440V** bobina en 220VAC, en categoría AC-6b, incluye resistencia limitadora y supresor de sobretensión.
 - 01 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.
 - 01 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.

- 04 Paso de 42 kVAR en 440V, compuesto cada uno por:**
- 01 Base portafusibles con fusibles NH tipo gL, de capacidad adecuada para proteger los condensadores,100A, 500V.
 - 01 Condensador trifásico, dieléctrico seco, con resistencia de descarga, uso interior, **marca ABB** Jumet/Bélgica, modelo **CLMD63**, 50KVAR, 480V, trifásico, 60Hz, IP42.
 - 01 Contactor tripolar, marca ABB Control/Francia, modelo **UA50-30-00 RA, 50 kVAR/440V** bobina en 220VAC, en categoría AC-6b, incluye resistencia limitadora y supresor de sobretensión.
 - 01 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.
- 02 Paso de 84 kVAR en 440V, compuesto cada uno por:**
- 01 Base portafusibles con fusibles NH tipo gL, de capacidad adecuada para proteger los condensadores,200A, 500V.
 - 02 Condensador trifásico, dieléctrico seco, con resistencia de descarga, uso interior, **marca ABB** Jumet/Bélgica, modelo **CLMD63**, 50KVAR, 480V, trifásico, 60Hz, IP42.
 - 02 Contactor tripolar, marca ABB Control/Francia, modelo **UA50-30-00 RA, 50 kVAR/440V**, bobina en 220VAC, en categoría AC-6b, incluye resistencia limitadora y supresor de sobretensión.
 - 02 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.
- 03 Paso de 168 kVAR en 440V, compuesto cada uno por:**
- 01 Base portafusibles con fusibles NH tipo gL, de capacidad adecuada para proteger los condensadores,400A, 500V.
 - 04 Condensador trifásico, dieléctrico seco, con resistencia de descarga, uso interior, **marca ABB** Jumet/Bélgica, modelo **CLMD63**, 50KVAR, 480V, trifásico, 60Hz, IP42.
 - 04 Contactor tripolar, marca ABB Control/Francia, modelo **UA50-30-00 RA, 50 kVAR/440V**. bobina en 220VAC, en categoría AC-6b, incluye resistencia limitadora y supresor de sobretensión.
 - 04 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.
- 01 **Kit de Ventilación forzada** compuesto por: Ventilador, rejilla de ventilación con filtro, Termostato, elementos de protección y control.
 - 01 Juego de borneras para montaje en riel, fusibles, marcadores, materiales menores etc.
 - 01 Lámpara de señalización color rojo de 22mm de diámetro en caso de sobrecalentamiento del tablero.
 - 01 Transformador de corriente de 4000/5A, Nucleo partido.
 - 01 Transformador de control de 440/220V, 150VA.
- Conexionado de equipos en sistemas de fuerza y de control.

POS. 02 BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO DE 333.6 KVAR, 440V-60HZ-3Ø

Suministro de un (01) tablero del tipo Autosoportado, de ejecución modular, fabricado con estructura de plancha LAF doblada de 1.5 mm de espesor, provisto de puerta frontal de 2 mm. de espesor la cual llevará empaquetadura de neopreno en todo su perímetro, provista de bisagras y chapa con llave, protecciones laterales y techo plano ejecutadas en plancha LAF de 1.5 mm de espesor, grado de protección **IP55**.

El gabinete metálico será sometido a un tratamiento especial de limpieza de sus superficies y será protegido con dos capas de pintura base anticorrosiva zincromato de zinc de la mejor calidad, seguido finalmente por dos capas de acabado esmalte epóxico de secado al horno color gris claro **RAL7035 (Gris)**.

Dimensiones aproximadas:

Alto: 2100 mm.

Ancho: (2 – 800) mm

Fondo: 800 mm

Será montado y conexionado con los siguientes equipos eléctricos:

- 01 Interruptor Termomagnético, tripolar, caja moldeada, marca ABB Sace/Italia, serie Tmax, tipo T6S1000 PR221 DS-LS/I, In = 1000A, 40kA a 440V, 1,000V de tensión de aislamiento, 690V de tensión de servicio, mando manual, ejecución fijo, con relé de protección electrónico por:
 - Protección contra sobrecarga con intervención retardada a tiempo largo inverso (L), no excluible, regulable desde 0.4 a 1.0 In;
 - Protección contra cortocircuito con intervención de retardado a tiempo corto inverso (S) umbral de intervención: 1-8In y
 - Protección contra cortocircuito con intervención instantánea (I), excluible, regulable desde 1.5 a 12 In.
- 01 Regulador de Factor de Potencia, marca ABB Jumet/Bélgica, modelo: RVC, 110-440 V, 60 Hz., 5 A., 12 pasos.
- 03 **Paso de 21 kVAR en 440V, compuesto cada uno por:**
 - 01 Base portafusibles con fusibles NH tipo gL, de capacidad adecuada para proteger los condensadores, 100A, 500V.
 - 01 Condensador trifásico, dieléctrico seco, con resistencia de descarga, uso interior, **marca ABB Jumet/Bélgica**, modelo **CLMD53**, 25KVAR, 480V, trifásico, 60Hz, IP42.
 - 01 Contactor tripolar, marca ABB Control/Francia, modelo **UA30-30-00 RA**, **30 kVAR/440V** bobina en 220VAC, en categoría AC-6b, incluye resistencia limitadora y supresor de sobretensión.
 - 01 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.
 - 01 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.
- 03 **Paso de 42 kVAR en 440V, compuesto cada uno por:**
 - 01 Base portafusibles con fusibles NH tipo gL, de capacidad adecuada para proteger los condensadores, 100A, 500V.
 - 01 Condensador trifásico, dieléctrico seco, con resistencia de descarga, uso interior, **marca ABB Jumet/Bélgica**, modelo **CLMD63**, 50KVAR, 480V, trifásico, 60Hz, IP42.
 - 01 Contactor tripolar, marca ABB Control/Francia, modelo **UA50-30-00 RA**, **50**

kVAR/440V bobina en 220VAC, en categoría AC-6b, incluye resistencia limitadora y supresor de sobretensión.

- 01 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.

02 Paso de 84 kVAR en 440V, compuesto cada uno por:

- 01 Base portafusibles con fusibles NH tipo gL, de capacidad adecuada para proteger los condensadores, 200A, 500V.
- 02 Condensador trifásico, dieléctrico seco, con resistencia de descarga, uso interior, marca **ABB** Jumet/Bélgica, modelo **CLMD63**, 50KVAR, 480V, trifásico, 60Hz, IP42.
- 02 Contactor tripolar, marca ABB Control/Francia, modelo **UA50-30-00 RA**, **50 kVAR/440V**, bobina en 220VAC, en categoría AC-6b, incluye resistencia limitadora y supresor de sobretensión.
- 02 Minicontactor auxiliar, marca ABB Stotz Kontakt/Alemania, modelo K6-22Z, bobina en 220V, 60Hz, contactos 2NA2NC.

- 01 **Kit de Ventilación forzada** compuesto por: Ventilador, rejilla de ventilación con filtro, Termostato, elementos de protección y control.

- 01 Juego de borneras para montaje en riel, fusibles, marcadores, materiales menores etc.

- 01 Lámpara de señalización color rojo de 22mm de diámetro en caso de sobrecalentamiento del tablero.

- 01 Transformador de corriente de 2000/5A, Nucleo partido.

- 01 Transformador de control de 440/220V, 150VA.

- Conexión de equipos en sistemas de fuerza y de control.
-

PROPUESTA ECONÓMICA**CUADRO DE PRECIOS**

Pos.	Cant.	Descripción	V.V. Unitario US \$	Sub Total US \$
1	1	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO DE 882.76KVAR, 440V, 3F, 60Hz.	31,000.00	31,000.00
2	1	BANCO DE CONDENSADORES AUTOMÁTICO DE 333.6KVAR, 440V, 3F, 60Hz.	13,000.00	13,000.00
Valor Total en US \$.				44,000.00

Los precios no incluyen IGV

Notas:

- Nuestro presupuesto no Incluye IGV.
- Las dimensiones de los tableros son referenciales, en el caso de ejecutar el proyecto se enviaran planos de fabricacion para aprobación.
- Las potencias de los bancos de condensadores es de acuerdo a lo solicitado por el cliente, según la informacion proporcionada.
- Nuestro presupuesto incluye los equipos y accesorios detallados en cada ítem, en caso de requerir equipos no indicados, será materia de presupuesto adicional.
- Se esta considerando el suministro de los transformadores de corriente de las capacidades de 4000/5 y 2000/5A, para cada uno de los bancos de condensadores respectivamente para la señal de corriente de las barras del interruptor general hacia el regulador de factor de potencia. Confirmar dichas capacidades.
- Cualquier consulta no duden en hacerla llegar.