

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN UNA
INSTALACIÓN INDUSTRIAL**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR:

WILDER HENRY AGUILAR ARELA

**PROMOCIÓN
2000- II**

**LIMA – PERÚ
2006**

**CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EN UNA
INSTALACIÓN INDUSTRIAL**

***Dedico el presente trabajo con mucho cariño a
mis padres y hermanos,
por su constante apoyo y comprensión.***

SUMARIO

El objetivo del presente trabajo es realizar la evaluación de los consumos de energía reactiva en una planta industrial dedicada a la elaboración de productos farmacéuticos y en base al análisis de dichos resultados determinar la mejor alternativa para el mejoramiento de su factor de potencia.

Para llevar acabo este estudio se realizaron trabajos de inspección, evaluación técnica y medición de parámetros eléctricos en las instalaciones de la planta industrial.

En el presente informe, se presentan los resultados de la evaluación y análisis de los consumos de energía reactiva y se plantean las alternativas para la reducción de estas.

ÍNDICE

PRÓLOGO

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Planta Industrial	2
1.2 Descripción de las Instalaciones Eléctricas	3
1.3 Distribución de la Energía Eléctrica	3

CAPÍTULO II

CONSUMO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

2.1 Estadística de Consumo de Energía Eléctrica	5
2.2 Mediciones de Potencia y Energía	6

CAPÍTULO III

COMPENSACIÓN REACTIVA

3.1 Compensación Reactiva mediante Bancos de Condensadores	10
3.2 Dimensionamiento del Banco de Condensadores	14

CAPÍTULO IV

CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1 Componentes Armónicas	16
4.2 Normatividad	18
4.3 Medición del Nivel de Tensión	21
4.4 Medición de la Distorsión Armónica en la Onda de Tensión	22
4.5 Medición de la Distorsión Armónica en la Onda de Corriente	24
4.6 Resonancia	25

CAPÍTULO V

PROPUESTA DE COMPENSACIÓN REACTIVA

5.1 Compensación Globalizada	32
5.2 Banco de Condensadores de Regulación Automática	32

CAPÍTULO VI

INVERSIONES Y BENEFICIOS

6.1 Inversiones	35
6.2 Beneficios Económicos	35
6.3 Beneficios Adicionales	36
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
ANEXOS	39
BIBLIOGRAFÍA	72

PRÓLOGO

Gran parte de los equipos eléctricos que forman parte de una instalación industrial requieren no solamente potencia activa, sino también potencia reactiva, tales como motores, lámparas de descarga y transformadores, sin embargo el trabajo útil es realizado exclusivamente por la potencia activa, la potencia reactiva solamente es necesaria para mantener el campo magnético requerido para la operación de estos equipos eléctricos.

Por otra parte las empresas suministradoras de energía eléctrica permiten el uso de energía reactiva a los consumidores hasta un 30% de la energía activa utilizada, para todo consumo que exceda esta cantidad cobran una tarifa por concepto de energía reactiva consumida. El cobro de la energía reactiva es necesario debido a la sobrecarga que ocasiona en el sistema, reduciendo de esta manera la distribución de la potencia activa y afectando consecuentemente su rentabilidad.

La potencia reactiva requerida por los equipos eléctricos para su operación, se puede proporcionar localmente usando condensadores de compensación, sin afectar la operación y la eficiencia de los equipos, por el contrario podrían brindar numerosos beneficios técnicos y económicos para un adecuado desarrollo del sector industrial en el país.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1 Planta Industrial

La planta industrial pertenece a una empresa dedicada a la fabricación, investigación y comercialización de productos farmacéuticos. La fabricación de productos se realiza en un local ubicado en la zona industrial dentro de la zona de concesión de Luz del Sur S.A.A.

La planta industrial tiene como actividad principal la elaboración de sueros, hemodiálisis, diálisis, inyectables, jarabes orales, ungüentos, cápsulas, tabletas, sales rehidratantes y envases plásticos para sus productos. La planta cuenta con modernos equipos para la producción y empaque de los productos así como su codificación en Ink-jet, en todos los procesos de producción la energía eléctrica viene a ser la principal fuente de energía. En la Fig. No 1.1 se puede apreciar parte de las instalaciones y equipos que conforman este tipo de plantas industriales.



Fig. N° 1.1: Equipos de Planta Industrial

1.2 Descripción de las Instalaciones Eléctricas

El suministro de energía eléctrica a la planta industrial está a cargo de la empresa concesionaria de distribución eléctrica Luz del Sur S.A.A. La tensión de suministro es de 10kV - 3Ø Media Tensión con las siguientes características:

- Potencia de cortocircuito (Scc) : 250 MVA.
- Opción Tarifaria : MT3.
- Potencia Contratada : 500 KW.

Cuenta con un transformador trifásico de fabricación ABB para realizar la transformación del sistema de media tensión 10kV a baja tensión en 0.23kV, el cual tiene las siguientes características:

- Tipo : TOAKWD.
- Potencia : 500 KVA.
- Vprim / Vsec : 10000 / 230 Voltios.
- Corriente nominal : 28.87 / 1255.1 A.
- Vcc(%) : 4.4 %.
- Frecuencia : 60 Hz.
- Enfriamiento : ON/AN.

La planta cuenta con un grupo de generación de energía eléctrica de las siguientes especificaciones técnicas:

- Marca : CUMMINS.
- Modelo : 285HC4AL/2A
- Potencia : 250 KVA.
- Tensión : 208/ 440 Voltios.

La operación del grupo electrógeno se realiza durante los casos de interrupción del servicio público de electricidad, sin embargo el grupo electrógeno no tiene la capacidad de proporcionar la potencia necesaria para la operación de la planta a plena carga, por lo tanto solamente alimenta los circuitos más importantes de la planta industrial.

1.3 Distribución de la Energía Eléctrica

La energía hacia las principales áreas de la planta es distribuida en el nivel de tensión de 0.23kV a través del transformador trifásico marca ABB y del Tablero General, el cual alimenta a 17 circuitos principales con sus respectivas protecciones mediante interruptores termomagnéticos.

En la figura No 1.2 se muestra el esquema unifilar de distribución de energía eléctrica en la planta industrial.

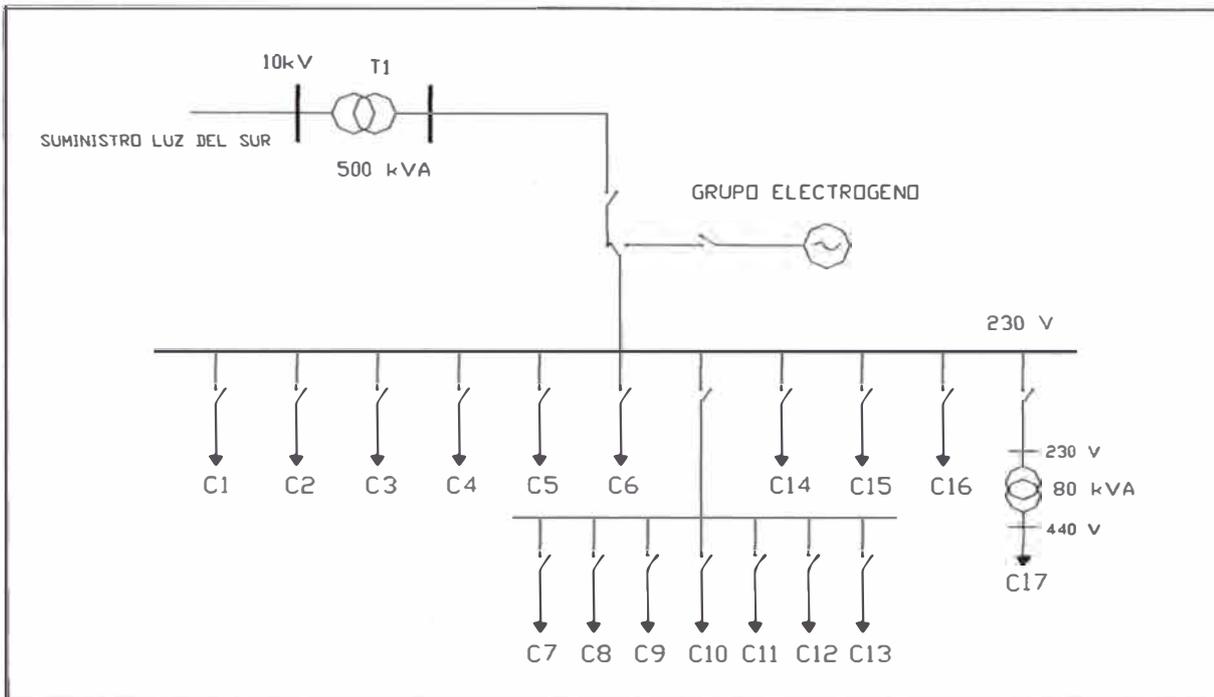


Fig. N° 1.2: Diagrama Unifilar

Como se puede apreciar existen 17 circuitos principales en el Tablero General, que distribuyen la energía eléctrica a cada una de las áreas que conforman la planta industrial.

En el anexo A se muestra el detalle de áreas y equipos de cada uno de los circuitos principales.

CAPÍTULO II

CONSUMO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

2.1 Estadística de Consumo de Energía Eléctrica

El análisis histórico de energía se centrará fundamentalmente en la determinación de los consumos de la potencia activa y reactiva.

La evolución de los consumos de energía eléctrica totales de la planta industrial suministradas a través de la empresa concesionaria Luz del Sur, se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 2.1: Consumos Históricos de Energía Eléctrica

Fecha Lectura	Máxima Demanda (kW)	Energía Activa PP. (MWh.)	Energía Reactiva (MVarh)
25/02/2000	431.60	155.16	134.96
25/03/2000	412.00	113.88	100.52
25/04/2000	403.20	108.88	98.88
25/05/2000	322.80	90.24	84.12
25/06/2000	376.40	112.32	104.20
25/07/2000	373.60	101.96	97.40
25/08/2000	379.20	110.96	108.64
25/09/2000	382.00	115.04	108.92
25/10/2000	411.20	122.80	112.76
25/11/2000	425.60	125.36	117.52
25/12/2000	426.80	123.64	113.28
25/01/2001	446.40	126.80	112.04

Donde:

Energía Activa FP.

Energía Activa horas fuera de punta

Energía Activa PP.

Energía activa en horas punta

En la figura Nº 2.1 se puede apreciar que en el mes de Febrero se tiene el mayor consumo de energía activa alcanzándose un valor de 155 160 kWh.

En este mes también se tiene el mayor consumo de energía reactiva; alcanzándose un valor de 134 960 kVARh.

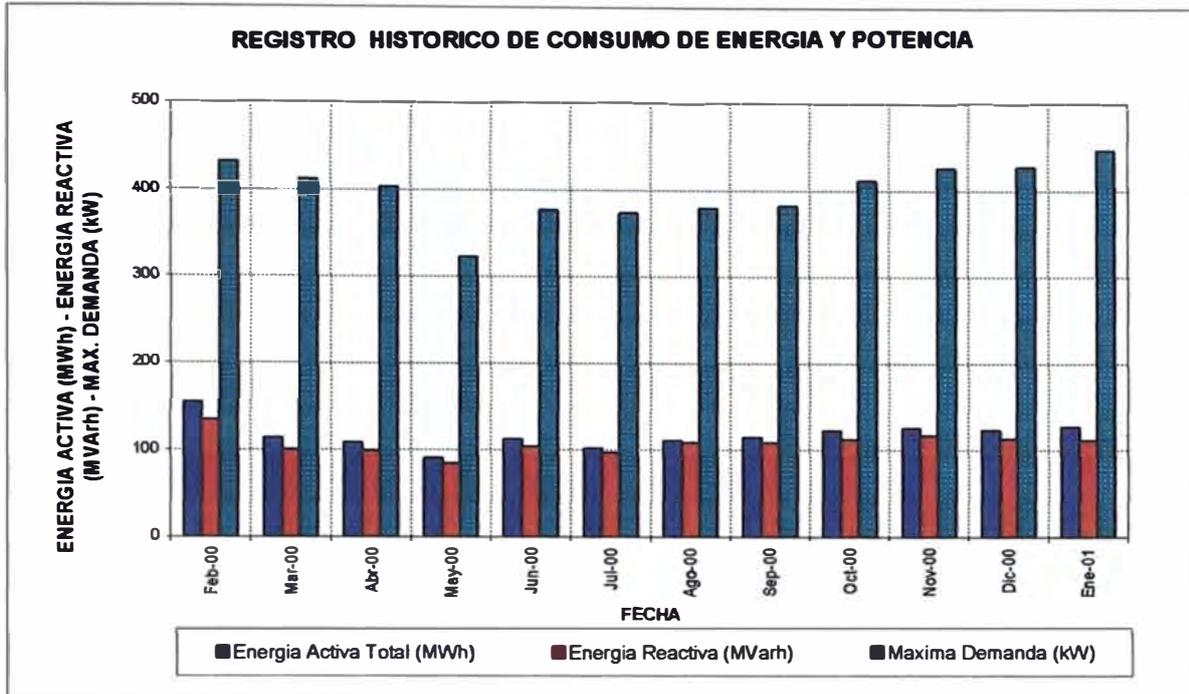


Fig. N° 2.1: Registros de Energía y Potencia

Teniendo como fuente estadística, las facturas de la empresa concesionaria de distribución de energía eléctrica Luz del Sur para el periodo Febrero 2000 - Enero 2001 se elaboró el cuadro que se muestra a continuación.

Cuadro 2.2: Facturaciones

VALOR	Max. Demanda. Leída (kW)	E. Activa total (MWh)	E. Reactiva (MVarh)
MÁXIMO	446.40	155.160	134.960
PROMEDIO	399.23	117.253	107.770
MÍNIMO	322.80	90.240	84.120

En éste periodo se tiene que la máxima demanda leída es de 446.4 kW, el consumo mensual promedio de energía activa es de 117.253 MWh y el promedio de la energía reactiva leída es de 107.770 MVarh.

2.2 Mediciones de Potencia y Energía

2.2.1 Instrumentación Utilizada

Los parámetros de cantidad y calidad de la energía eléctrica en el totalizador de la planta fueron medidos y registrados por el equipo RPM 1650, los parámetros registrados fueron:

- Tensiones monofásicas y trifásicas por fase (V).
- Desbalance de tensiones y corrientes (%).
- Armónicas de tensión y corriente totales e individuales hasta el orden 63^a (%).
- Potencia aparente (kVA).
- Potencia activa de las fases individuales (kW).
- Potencia reactiva de las fases individuales (kVAR).
- Factor de potencia de las fases individuales.
- Flicker (indicador Pst según normas CEI y NTCSE - Perú).
- Frecuencia (Hz).

Los parámetros de cantidad de energía fueron medidos y registrados por el equipo Dranetz modelo 808, dichos parámetros fueron :

- Tensiones monofásicas y trifásicas por fase (V).
- Desbalances de tensiones y corrientes (%).
- Potencia aparente (kVA).
- Potencia activa de las fases individuales (kW).
- Potencia reactiva de las fases individuales (kVAR).
- Factor de potencia de las fases individuales.

2.2.2 Periodo y Cronograma de Mediciones

La relación de los principales registros efectuados se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 2.3: Puntos de Medición

Ítem	Punto de medición	Tensión (V)	Equipo de medición	Fecha de inicio	Fecha de término
1	Totalizador Planta	10 000	Rpm	19/02/01	21/02/01 12:04
2	Llave 04	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 17:28
3	Llave 05	230	Dranetz	21/02/01	21/02/01 12:00
4	Llave 06	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 16:58
5	Llave 07	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 16:35
6	Llave 08	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 15:46
7	Llave 09	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 15:04
8	Llaves 10 -16	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 14:40
9	Llave 17	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 14:08
10	Llave 18	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 13:44
11	Llave 19	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 13:20
12	Llave 20	230	Dranetz	20/02/01	20/02/01 18:00

2.2.3 Resultado de las Mediciones

Las mediciones realizadas se efectuaron en condiciones de plena carga, con la finalidad de que brinden un panorama real del consumo de energía reactiva de la planta industrial. Los resultados de las mediciones se muestran a continuación con sus respectivas descripciones:

○ Totalizador de Planta Industrial

Las mediciones en este circuito corresponden al consumo de la planta en 2 días útiles de operación, en el anexo B se aprecia el detalle de las mediciones en el totalizador durante los trabajos de campo.

De las mediciones realizadas desde el día 19/02/01 hasta el día 21/02/01 se han obtenido los siguientes resultados:

Cuadro 2.4: Resumen de registros

VALOR	P. ACTIVA (kW)	P. REACTIVA (kVAr)	COS(ϕ)
MÁXIMO	448.28	316.82	
PROMEDIO	241.45	190.89	0.78
MÍNIMO	53.42	52.23	

El diagrama de carga obtenido con los registros de la medición realizada se muestra a continuación:

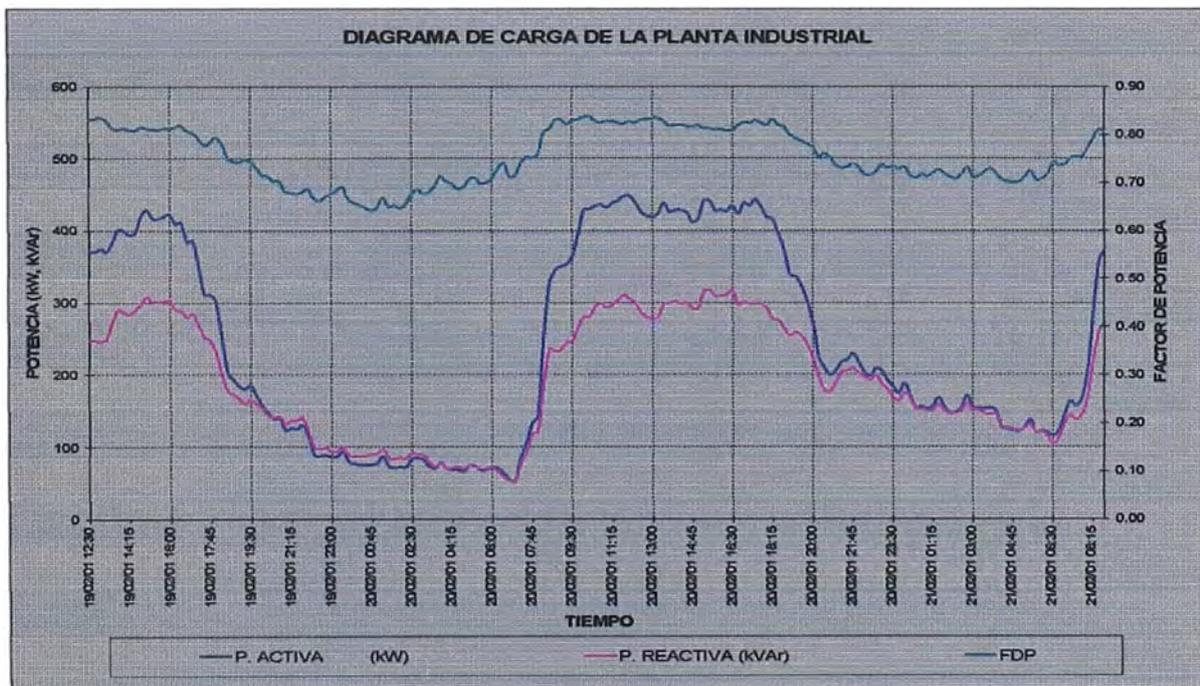


Fig. N° 2.2: Diagrama de Carga

En el diagrama de carga se puede observar que la máxima demanda ocurre el día miércoles 20/02/01 a las 12:00 hrs. y alcanza un valor de 448.28 kW, un factor de potencia de 0.83 y una potencia reactiva de 304.61 kVAr, por otra parte los valores mínimos se dieron el día 20/02/01 a las 07:00 horas registrándose una potencia activa de 53.42 kW, un factor de potencia de 0.72 y potencia reactiva de 52.23 kVAr. Cabe recordar que de acuerdo a la data histórica de consumo de energía eléctrica la máxima demanda fue de 446.40 kW registrada en el mes de enero, validando de esta manera las mediciones realizadas para que sirvan de base en el diseño de los equipos de compensación reactiva.

Asimismo se aprecia un comportamiento variable del factor de potencia, el cual incrementa su valor durante las horas que la planta opera a plena carga y disminuye durante las horas de la noche cuando el consumo de energía es reducido.

Cabe resaltar que se tiene una misma tendencia en cuanto a demanda diaria; obteniéndose la mayor demanda en el periodo entre las 09:00 a las 18:00 hrs. y un menor consumo las horas restantes del día, periodo en el que baja la producción de la planta, para retomarla nuevamente a partir de las 09:00 hrs. del día siguiente.

A continuación, se presentan los valores de las demandas de los circuitos medidos en el tablero general de la planta industrial.

Cuadro 2.5: Máximas Demandas por alimentador

ALIMENTADOR	MÁXIMA DEMANDA (kW)	DEMANDA PROMEDIO (kW)	COS(ϕ)
C1	50.80	42.70	0.81
C2	20.10	19.50	0.71
C3	25.80	19.60	0.86
C4	42.10	40.10	0.75
C5	75.40	61.30	0.81
C6	58.00	54.10	0.81
C7-C13	32.80	29.80	0.68
C14	41.70	39.50	0.83
C15	42.60	40.50	0.87
C16	51.60	50.60	0.94
C17	4.00	3.50	0.81

CAPÍTULO III

COMPENSACIÓN REACTIVA

3.1 Compensación Reactiva mediante Bancos de Condensadores

La facturación de los consumos de la energía reactiva, se debe a los costos que ocasionan su transporte en el sistema eléctrico, por esta razón es necesaria la instalación de equipos de compensación reactiva.

Una de las maneras de proporcionar la energía reactiva necesaria a las necesidades de la planta industrial, sin el perjuicio de sobrecargar las redes de distribución, es mediante la utilización de bancos de condensadores dentro de las instalaciones de la planta industrial.

La implementación de bancos de compensación reactiva en la planta industrial traería consigo el mejoramiento del factor de potencia y la reducción de los costos asociados a los consumos de energía reactiva. En ese sentido se estaría logrando reducir los pagos en la facturación mensual.

Las ventajas a obtenerse instalando el banco de condensadores se pueden resumir en:

- Reducción de los gastos en energía eléctrica.
- Aumento en la potencia disponible en el transformador.
- Mejora en los niveles de tensión.
- Reducción de las pérdidas de energía eléctrica.
- Alivio de cargas en cables e interruptores.

Los principales equipos que requieren energía reactiva para su operación son: las compresoras, las extrusoras, equipos de aire acondicionado etc. Estos equipos operan la mayor parte del día y el consumo de energía reactiva es elevado.

Existen diversas formas de compensación reactiva en media o baja tensión, variables y/o fijas. En lo que respecta a la localización de los bancos esta podría ser de forma global en la subestación de la planta conectadas a las barras del tablero principal ó en forma individual en los tableros de los principales de motores. Los métodos de mejora del factor de potencia según la ubicación de los condensadores se clasifican en:

- Compensación reactiva global.
- Compensación reactiva parcial o por secciones
- Compensación individual

3.1.1 Compensación Global

El banco de condensadores está instalado en la subestación principal y asegura la compensación del conjunto de la instalación. Está permanentemente en servicio durante la marcha normal de la fábrica.

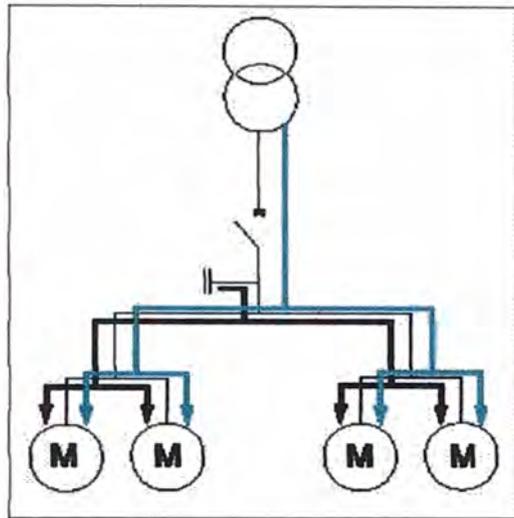


Fig. Nº 3.1: Compensación Global

Ventajas

- Elimina las penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva.
- Disminuye la potencia aparente (o de aplicación) ajustándola a la necesidad real de kW de la instalación.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

Observaciones

- La corriente reactiva está presente en la instalación.
- Las pérdidas por efecto Joule (kWh) en los cables situados aguas abajo y su dimensionamiento no son disminuidos.
- Existe un riesgo de sobrecompensación como consecuencia de variaciones de carga importantes (este riesgo se elimina con la compensación automática).

3.1.2 Compensación Parcial

La batería está conectada al cuadro de distribución y suministra energía reactiva a cada taller o grupo de receptores. Se descarga así gran parte de la instalación, en particular los cables de alimentación de cada taller.

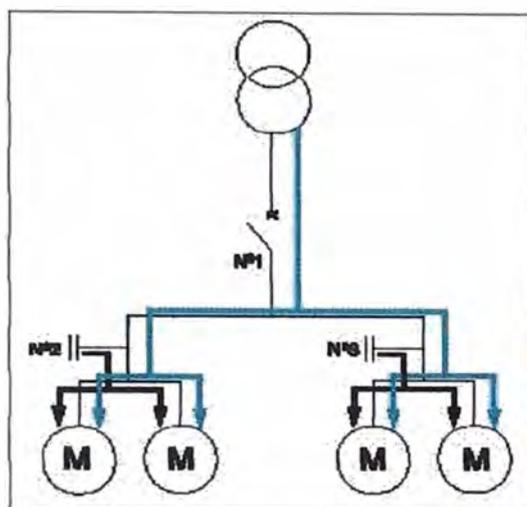


Fig. Nº 3.2: Compensación Parcial

Ventajas

- Elimina las penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).
- Optimiza parte de la red ya que la corriente reactiva no circula en el circuito que suministra energía al taller o grupo de receptores.

Observaciones

- La corriente reactiva está presente en los circuitos de los equipos receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule (kWh) en los cables quedan reducidas.
- Existe un riesgo de sobrecompensación como consecuencia de variaciones de carga importantes (este riesgo se elimina con la compensación automática).

3.1.3 Compensación Individual

La batería está conectada directamente a los bornes de cada receptor de tipo inductivo (en particular motores). Esta compensación individual debe contemplarse cuando la potencia del motor es importante con relación a la potencia total

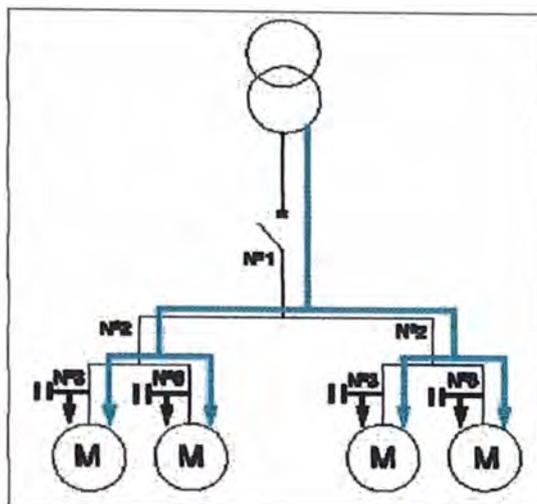


Fig. Nº 3.3: Compensación Individual

La potencia en kVAr de la batería representa aproximadamente el 25% de la potencia en kW del motor.

Cuando es aplicable, esta compensación produce energía reactiva en el lugar mismo donde es consumida y en una cantidad que se ajusta a las necesidades.

Ventajas

- Elimina las penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva,
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW),
- Reduce el dimensionamiento de las cables y las pérdidas por efecto Joule (kWh).

Observaciones

- La corriente reactiva ya no está presente en las cables de la instalación.
- Se requiere el espacio necesario para la instalación de los condensadores en la cercanía de cada una de las cargas a compensar.

Se puede contemplar una compensación individual cuando la potencia de algunos receptores es importante con relación a la potencia total ya que es el tipo de compensación que más ventajas ofrece.

Debido a que las cargas de la planta están concentradas no teniéndose elevadas caídas de tensión, además que los consumos están distribuidos en numerosos subtableros, la localización del banco de condensadores será en tablero general de la subestación principal.

Por la variabilidad de la carga durante el día, se utilizará un sistema automático de control de tal forma que conecten y desconecten condensadores según sus requerimientos evitándose de esta manera tener excesos o defectos de compensación.

3.2 Dimensionamiento del Banco de Condensadores

Para evitar el pago de la energía reactiva, es necesario elevar el factor de potencia (FP) teniendo en cuenta que el pago por energía reactiva es sobre el 30% de la energía activa mensual consumida.

El valor deseado de factor de potencia promedio se calcula de la siguiente expresión:

$$FP = \text{Cos}(\varnothing_f) = \text{Cos}(\arctan(ER/EA)) \quad (3.1)$$

Donde:

FP	:	Factor de Potencia
ER	:	Energía Reactiva igual al 30% de la energía activa consumida para que la facturación por este concepto sea nula. (ER = 0.30 x EA)
EA	:	Energía Activa consumida

Reemplazando en la expresión (3.1) tenemos:

$$FP = \text{Cos}(\varnothing_f) = \text{Cos}(\arctan(0.30 \times ER/EA)) = \text{Cos}(\arctan(0.30))$$

Finalmente el factor de potencia mínimo necesario para evitar el pago por concepto de energía reactiva es de:

$$FP = \text{Cos}(\varnothing_f) = 0.9578$$

Para calcular la Potencia del banco de condensadores para la compensación reactiva, se ha considerado los siguientes datos de las mediciones:

Demanda máxima leída	448.276 kW
Factor de Potencia	0.827
Factor de potencia deseado	0.9578

La Potencia de compensación general se calcula mediante la siguiente fórmula

$$Q_c = MD \times [\tan(\cos^{-1}(\varnothing_i)) - \tan(\cos^{-1}(\varnothing_f))] \quad (3.2)$$

Donde :

Q_c	:	Potencia de compensación (kVAR)
MD	:	Máxima Demanda (kW)
$\text{Cos}(\varnothing_i)$:	Factor de Potencia actual
$\text{Cos}(\varnothing_f)$:	Factor de Potencia óptimo

Reemplazando los valores registrados en la expresión (3.2) tenemos:

$$Q_c = 448.276 \times [\tan(\cos^{-1}(0.827)) - \tan(\cos^{-1}(0.9578))] \text{ kVAR}$$

$$Q_c = 170 \text{ kVAR}$$

Es la potencia reactiva mínima a instalar para evitar el pago por concepto de energía reactiva. El valor de la potencia reactiva máxima a instalar para que el factor de potencia óptimo sea la unidad es:

$$Q_c \text{ max} = 448.276 \times [\tan(\cos^{-1}(0.827)) - \tan(\cos^{-1}(1.00))] \text{ kVAR}$$

$$Q_c \text{ max} = 305 \text{ kVAR}$$

Nuestro objetivo es evitar el pago de costos asociados a la utilización de energía reactiva proveniente de la empresa distribuidora, para ello el banco de condensadores necesario deberá proveer la suficiente energía reactiva para corregir el factor de potencia a un valor de 0.98 inductivo.

Para el presente dimensionamiento de los condensadores a instalar se va a considerar la mejora de factor de potencia a un valor de 0.98 para lograr un adecuado funcionamiento del transformador de potencia, reducción de los consumos de energía reactiva, así como una reducción de las pérdidas en las instalaciones eléctricas.

Por lo tanto el banco de condensadores deberá contar con una capacidad mínima de 214 kVAr en las condiciones de tensión y frecuencia del sistema eléctrico de baja tensión de la planta. A efectos de evitar riesgos de sobretensiones que puedan perjudicar la operación o la vida útil del condensador y empleando las capacidades de condensadores que se utilizan en el mercado nacional, se requerirá un banco de condensadores con capacidad nominal de 240 kVAr a una tensión nominal de 0.23 kV.

CAPÍTULO IV

CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

4.1 Componentes Armónicas

Las componentes armónicas en las ondas de tensión y corriente se han vuelto elementos comunes en casi todas las instalaciones eléctricas que forman parte de una planta industrial.

Las armónicas son originadas por cargas denominadas como no lineales, que a pesar de ser alimentadas con una tensión senoidal, absorben una intensidad no senoidal, en el Cuadro No 4.1 se presentan algunas cargas no lineales que se utilizan comúnmente en la industria.

Cuadro 4.1: Cargas no lineales y sus efectos

Tipo de carga	Armónicos Generados	Comentarios
Transformador	Orden par e impar	Componente en CC.
Motor Asíncrono	Orden impar	Inter. y subarmónicos.
Lámpara de descarga	$3^0 +$ impares	Puede llegar al 30% de I_1
Soldadura de arco	3^0	
Horno de arco CA	Espectro variable inestable	No lineal – asimétrico.
Rectificador - filtro	$h = K \times P \pm 1 ; I_h = I_1 / h$	SAI-Variadores de
Rectificador - filtro	$h = K \times P \pm 1 ; I_h = I_1 / h$	Fuente de Equipo
Ciclo convertidores	Variables	Variadores de velocidad
Reguladores PWM	Variables	SAI-convertidor CC-CA

Las armónicas generadas por la operación de las cargas mencionadas anteriormente causan diversos efectos en los diversos componentes de la instalación eléctrica, ocasionando diversos problemas como se muestran en el Cuadro 4.2.

Cuadro 4.2: Efectos y consecuencias de las componentes armónicas

Armónicos en:	Causan	Consecuencia
Conductores	Aumento de la I_{RMS} .	Disparos intempestivos de las protecciones.
	El efecto pelicular (skin) que reduce la sección efectiva de los conductores a medida que aumenta la frecuencia.	Sobrecalentamiento de los conductores.
Conductor de neutro	Cuando existe una carga trifásica + neutro equilibrada que genera armónicos impares múltiplos de 3.	Cierre de los armónicos homopolares sobre el neutro que provoca calentamientos y sobreintensidades.
Transformadores	Aumento de la I_{RMS} .	Aumento de los calentamientos por efecto Joule en los devanados.
	Las pérdidas por Foucault son proporcionales al cuadrado de la frecuencia, las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia.	Aumento de las pérdidas en el hierro.
Motores	Análogas a las de los transformadores y generación de un campo adicional al principal.	Análogas a las de los transformadores más pérdidas de rendimiento.
Condensadores	Disminución de la impedancia del condensador con el aumento de la frecuencia.	Envejecimiento prematuro, amplificación de los armónicos existentes.

Como se aprecia en el Cuadro 4.2, la presencia de armónicas en la instalación eléctrica, ocasiona un envejecimiento prematuro del condensador y una amplificación de las armónicas existentes, consecuentemente un problema mayor en los demás equipos eléctricos, por esa razón es importante en el diseño de los bancos de compensación

reactiva la realización de un análisis del comportamiento de las componentes armónicas en las ondas de tensión y corriente que alimentan a cualquier instalación eléctrica.

4.2 Normatividad

Los graves problemas ocasionados por la presencia de armónicas en una instalación eléctrica, originaron que diversos organismos internacionales se preocuparan por establecer límites o tolerancias que permitan una adecuada operación del sistema eléctrico.

4.2.1 IEEE Std 519-1992

Podemos mencionar al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Inc. (IEEE) que generó la IEEE Std 519-1992, cuyo propósito es recomendar límites en la distorsión armónica según dos criterios distintos:

Límite en la distorsión armónica de voltaje que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor.

Límite en la distorsión armónica de corriente que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica.

Estos límites recomendados se muestran en los cuadros siguientes:

Cuadro 4.3: Límites de distorsión de Voltaje según IEEE 519

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de Voltaje (%) *	Distorsión total del voltaje THD (%)
Hasta 69 kV	3.0	5.0
De 69 kV a 137.9 kV	1.5	2.5
138 kV y mas	1.0	1.5
(*) Los armónicos pares se limitan al 25% de los límites de los armónicos impares mostrados. Nota: (Para condiciones con más de una hora de duración. Periodos más cortos aumentan su límite en un 50%)		

Los límites se imponen sobre componentes individuales y sobre la distorsión total para la combinación de todos los voltajes armónicos (THD). Se aprecia que los límites disminuyen a medida que el voltaje aumenta.

Cuadro 4.4: Límites en la Distorsión de la Corriente según IEEE 519

Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 - 69,000 Volts.					
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental					
ISC/IL	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h
<20*	4	2	1.5	0.6	0.3
20<50	7	3.5	2.5	1	0.5
50<100	10	4.5	4	1.5	0.7
100<1000	12	5.5	5	2	1
>1000	15	7	6	2.5	1.4
Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 69,000 - 161,000 Volts.					
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental					
ISC/IL	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h
<20*	2	1	0.75	0.3	0.15
20<50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25
50<100	5	2.25	2	0.75	0.35
100<1000	6	2.75	2.5	1	0.5
>1000	7.5	3.5	3	1.25	0.7
Límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes > 161,000 Volts.					
Máxima Distorsión Armónica Impar de la Corriente, en % del Armónico fundamental					
ISC/IL	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h
<50	2	1	0.75	0.3	0.15
50	3	1.5	1.15	0.45	0.22
Los armónicos pares se limitan al 25% de los límites de los armónicos impares mostrados anteriormente					
* Todo equipo de generación se limita a estos valores independientemente del valor de I _{sc} /I _l que presente					
Donde ISC = corriente Máxima de cortocircuito en el punto de acoplamiento común.					
IL = Máxima demanda de la corriente de carga (a frecuencia fundamental) en el punto de acoplamiento común.					
Nota: (Para condiciones con más de una hora de duración. Períodos más cortos aumentan su límite en un 50%)					

Los límites mostrados corresponden a los armónicos impares, la generación de armónicos pares se restringe más debido a que la resultante DC puede ocasionar saturación en motores y transformadores, asimismo la corriente de secuencia negativa puede ocasionar calentamiento en generadores. Por ello los armónicos pares individuales se limitan a un 25% de los límites armónicos impares.

4.2.2 Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos – NTCSE

En Octubre de 1997 se aprobó la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos, posteriormente en el mes de Mayo del 1998 se publica la versión definitiva de las bases metodológicas para la aplicación de la Norma de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE).

El objetivo de la NTCSE es establecer los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos y las obligaciones de las empresas de electricidad que operan bajo el régimen de la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley No. 25844 y también las obligaciones de los clientes.

El control de la calidad de la energía eléctrica; se realiza teniendo en cuenta los indicadores que se fijan en la Norma técnica en lo referente a la calidad de producto, para esto se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- Tensión
- Perturbaciones (Flicker y tensiones armónicas)

- **Tensión**

La NTCSE especifica las tolerancias en cuanto a las variaciones de los niveles de tensión. La tolerancia del nivel de tensión es del $\pm 5\%$ de la tensión de referencia.

- **Flicker**

El Flicker es un tipo de señal subarmónica que puede ocasionar parpadeos luminosos perceptibles para el ojo humano (rango entre 0.1 a 25 Hz). La tolerancia es de 1 Pst. para todos los niveles de tensión.

- **Armónicas de tensión**

Según la NTCSE; los valores eficaces (RMS) de las tensiones armónicas individuales (V_i) y los THD, expresado como porcentaje de la tensión nominal del punto de medición respectivo, no deben superar los valores límite (V_i y THD) indicados en el Cuadro 4.5. Para efecto de la NTCSE peruana, se consideran las armónicas comprendidas entre la dos (2°) y la cuarenta (40°), ambas inclusive.

Cuadro 4.5: Tolerancias

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA o THD	TOLERANCIA [Vi'] o [THD'] (% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)		
5	2	6
7	2	5
11	1.5	3.5
13	1.5	3
17	1	2
19	1	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
Mayores de 25	$0.1+2.5/n$	$0.2+12.5/n$
(Armónicas Impares múltiplos de 3)		
3	1.5	5
9	1	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8

4.3 Medición del Nivel de Tensión

Las mediciones fueron realizadas por el equipo analizador de calidad de energía Reliable Power Meter 1650, en la barra de 0.23kV de la subestación, dando los siguientes resultados:

Cuadro 4.6: Resumen de registros de Tensión

VALOR	TENSIÓN (V)		
	FASE R	FASE S	FASE T
MÁXIMO	229.15	229.82	230.09
PROMEDIO	223.36	224.79	224.46
MÍNIMO	215.61	217.59	216.57

Del cuadro anterior se aprecia que la máxima tensión registrada fue de 230.09 V, la cual ocurrió a las 00:35 horas del día 20/02/01, en momentos que la planta operaba a mínima carga.

Asimismo el mínimo valor de tensión registrado fue de 215.61 V, ocurrido a las 11:45 horas del día 21/02/01, en momentos que la planta operaba a plena carga.

La curva de variación de tensión durante el periodo de medición se presenta en el anexo C, en la cual se aprecia que los mínimos valores de tensión se presentan durante las horas que la planta opera a plena carga.

4.4 Medición de la Distorsión Armónica en la Onda de Tensión

Las mediciones fueron realizadas por el equipo analizador de calidad de energía Reliable Power Meter 1650, en el nivel de tensión de 0.23kV, los resultados se muestran en el Cuadro No 4.7.

Se aprecia que la quinta armónica es la de mayor magnitud, alcanzando el 2.151% de la fundamental, sin embargo este valor no sobrepasa las tolerancias dadas por la IEEE Std 519-1992 y mucho menos la dada por la NTCSE.

Asimismo se aprecia que el máximo valor de THD de tensión registrado por el analizador fue de 2.256%, valor que esta muy por debajo de las tolerancias dadas por las normas consideradas.

En el anexo C se muestra la variación del Factor de Distorsión por Tensiones Armónicas (THD) del totalizador de la planta industrial.

Cuadro 4.7: Comparación de registros con tolerancias

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA o THD	TOLERANCIA [Vi'] o [THD'] (%) para un nivel de voltaje de 0.23kV		Máximos valores registrados (%)
	Límites según IEEE 519	Límites según NTCSE	
(Armónicas Impares no múltiplos de 3)			
5	3	6	2.151
7	3	5	0.458
11	3	3.5	0.148
13	3	3	0.073
17	3	2	0.041
19	3	1.5	0.079
23	3	1.5	0.089
25	3	1.5	0.012
29	3	0.63	0.016
31	3	0.60	0.000
35	3	0.56	0.000
37	3	0.54	0.000
(Armónicas Impares múltiplos de 3)			
3	3	5	0.295
9	3	1.5	0.063
15	3	0.3	0.040
21	3	0.2	0.108
27	3	0.2	0.000
33	3	0.2	0.000
39	3	0.2	0.000
(Pares)			
2	0.75	2	0.564
4	0.75	1	0.186
6	0.75	0.5	0.140
8	0.75	0.5	0.041
10	0.75	0.5	0.036
12	0.75	0.2	0.012
14	0.75	0.2	0.004
16	0.75	0.2	0.004
18	0.75	0.2	0.040
20	0.75	0.2	0.061
22	0.75	0.2	0.231
24	0.75	0.2	0.032
26	0.75	0.2	0.004
28	0.75	0.2	0.041
30	0.75	0.2	0.000
32	0.75	0.2	0.000
34	0.75	0.2	0.000
36	0.75	0.2	0.000
38	0.75	0.2	0.000
40	0.75	0.2	0.000
THD	5	8	2.256

4.5 Medición de la Distorsión Armónica en la Onda de Corriente

Estas mediciones también fueron realizadas en el alimentador general de la planta, en el nivel de tensión de 0.23kV dando los resultados mostrados en el Cuadro 4.8:

Cuadro 4.8: Comparación de registros con tolerancias

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA	Máxima Distorsión Armónica de la Corriente, en % del Armónico fundamental según IEEE Std 519-1992 para $20 < I_{sc}/I_L < 50$	Máximos valores registrados (%) en condiciones de máxima demanda.
(Armónicas Impares)		
3	7	0.550
5	7	2.790
7	7	0.700
9	7	0.310
11	3.5	0.220
13	3.5	0.160
15	3.5	0.120
17	2.5	0.060
19	2.5	0.070
21	2.5	0.050
23	1	0.050
25	1	0.040
27	1	0.030
29	1	0.030
31	1	0.020
33	1	0.020
35	0.5	0.030
37	0.5	0.020
39	0.5	0.020
(Pares)		
2	1.75	0.300
4	1.75	0.070
6	1.75	0.070
8	1.75	0.050
10	1.75	0.020
12	0.875	0.030
14	0.875	0.020
16	0.875	0.020
18	0.625	0.020
20	0.625	0.010
22	0.625	0.010
24	0.25	0.020
26	0.25	0.010
28	0.25	0.030
30	0.25	0.010
32	0.25	0.010
34	0.25	0.010
36	0.125	0.010
38	0.125	0.010
40	0.125	0.010

Se aprecia que la quinta armónica es la de mayor magnitud, alcanzando el 2.79% de la fundamental, sin embargo este valor no sobrepasa las tolerancia dada por la IEEE Std 519-1992. En el anexo C se muestra la variación de las principales armónicas de corriente registradas durante el periodo de medición en el alimentador general de la planta industrial.

De los valores obtenidos mediante las mediciones de la calidad de la energía se puede afirmar que el nivel de distorsión armónica no supera las tolerancias dadas por la norma IEEE Std 519-1992, asimismo también se encuentra dentro de los límites permitidos por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos de nuestro país.

4.6 Resonancia

El problema causado por la existencia de componentes armónicas en la instalación eléctrica es agravado frecuentemente por la tendencia de instalar condensadores para mejorar el factor de potencia. De acuerdo al IEEE Std 519 – 1992 el circuito mostrado en la Fig. No 4.1 es adecuado para analizar muchos circuitos industriales cuando los condensadores son instalados en la subestación:

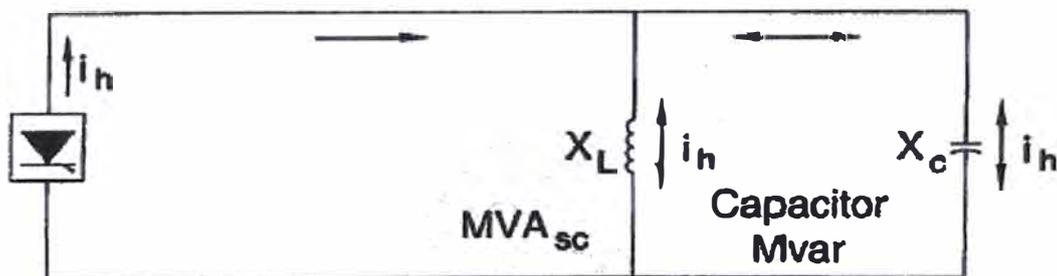


Fig. No 4.1: Circuito Equivalente

Este tipo de instalación es muy común y en una condición de resonancia se cumple las siguientes condiciones:

$$\omega_{res} L = \frac{1}{\omega_{res} C} \quad (4.1)$$

$$f_{resonancia} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4.2)$$

$$\frac{f_{resonancia}}{f_{sistema}} = h_r = \sqrt{\frac{X_c}{X_L}} = \sqrt{\frac{MVA_{sc}}{MVA_r_c}} \quad (4.3)$$

MVA_{sc} = Es la potencia de cortocircuito en el punto de instalación del condensador.

MVA_{r_c} = Es la potencia reactiva entregada por el condensador a la tensión del sistema.

Cuando las condiciones de resonancia se presentan, el banco de condensadores se comporta ante la fuente armónica como un circuito en paralelo con la reactancia del sistema. Este circuito paralelo representa una alta impedancia a la frecuencia de resonancia, originando elevados voltajes armónicos.

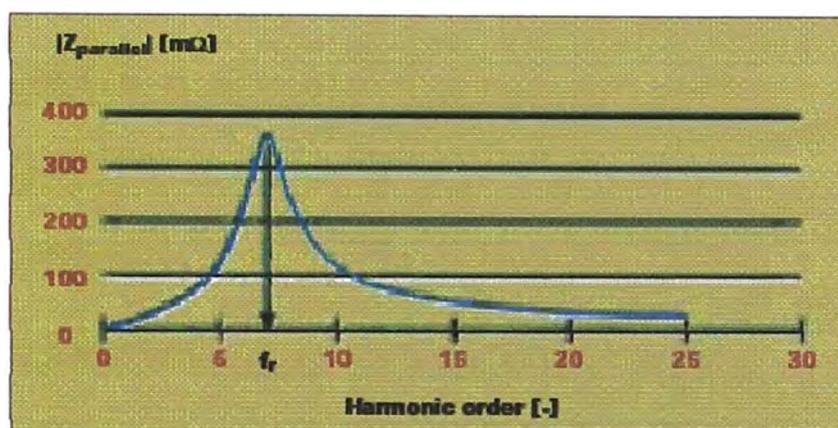


Fig. No 4.2: Impedancia Paralelo.

Las condiciones de sobrevoltaje pueden exceder la capacidad del condensador y dar como resultado el deterioro del equipo. Asimismo una distorsión de voltaje elevada puede causar fallas y anomalías en la operación de los diversos equipos que forman parte de la instalación eléctrica de la planta industrial.

De acuerdo a lo determinado en el capítulo anterior es necesaria la operación de un banco de condensadores con una capacidad de 214 kVAr, a fin de compensar el exceso de consumo de potencia reactiva. De los datos del sistema y del futuro banco de condensadores tenemos:

- Potencia de cortocircuito en 10 kV (S_{cc}): 250 MVA.
- Potencia de transformador (10/0.23 kV) 500 kVA.
- $V_{cc}(\%)$ del transformador 4.4 %.
- Potencia reactiva del banco de condensadores a las condiciones del sistema 240 kVAr

Debido a la ubicación del banco de condensadores es necesario obtener la potencia de cortocircuito (P_{cc}) en el nivel de 0.23kV para ello calculamos lo siguiente:

$$I_{CC \text{ baja tension}} = \frac{V_{\text{baja tension}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{total}}} = \frac{0.23kV}{\sqrt{3} * Z_{\text{total}}}, \quad (4.4)$$

$$Z_{\text{total}} = Z_{\text{red}} + Z_{\text{transformador}}, \quad (4.5)$$

$$Z_{\text{red}} = \frac{V_{\text{baja tension}}^2}{P_{CC \text{ media tension}}} = \frac{(0.23kV)^2}{250MVA} = 0.0002116 \Omega$$

$$Z_{\text{transformador}} = \frac{V_{CC \text{ transformador}} * V_{\text{baja tension}}^2}{100 * S_{N \text{ transformador}}} = \frac{4.4 * (0.23kV)^2}{100 * (0.5MVA)} = 0.0046552 \Omega$$

$$I_{CC \text{ baja tension}} = \frac{0.23kV}{\sqrt{3} * (0.002116 \Omega + 0.046552 \Omega)} = 27.285 \text{ kA}$$

$$P_{CC \text{ baja tension}} = \sqrt{3} * 0.23 \text{ kV} * 27.285 \text{ kA} = 10.87 \text{ MVA}$$

$I_{CC \text{ baja tension}}$ = Corriente de corto circuito en el lado de baja tension.

$P_{CC \text{ baja tension}}$ = Potencia de corto circuito en el lado de baja tension.

De los cálculos realizados se obtuvo una potencia de cortocircuito de 10.87 MVA en la barra de baja tensión (0.23kV) de la subestación eléctrica. Por lo tanto si se instalara un banco de condensadores en la barra de baja tensión, la frecuencia de resonancia sería:

$$f_{\text{resonancia}} = f_{\text{sistema}} * \sqrt{\frac{X_c}{X_L}} = f_{\text{sistema}} * \sqrt{\frac{MVA_{SC}}{MVA_r_c}} \quad (4.6)$$

$$f_{\text{resonancia}} = 60 * \sqrt{\frac{10.87 \text{ MVA}}{0.24 \text{ MVA}}} = 403.79 \text{ Hz}$$

$$\frac{f_{\text{resonancia}}}{f_{\text{sistema}}} = \frac{403.79 \text{ Hz}}{60 \text{ Hz}} = 6.73$$

De acuerdo a lo calculado se puede establecer que la frecuencia de resonancia es 403.79 Hz. cuando el banco de regulación automática opere toda su capacidad, dicha frecuencia es muy cercana a la séptima armónica, sin embargo cuando el banco opere con una capacidad menor la frecuencia de resonancia será mayor.

De acuerdo a las mediciones realizadas, los niveles de distorsión armónica se encuentran por debajo de los límites establecidos en las respectivas normas, sin embargo debido a la existencia de la armónica de orden 7 y una frecuencia de resonancia del sistema de distribución – condensador, cercana a dicho armónico se analizará la influencia de dicha perturbación en la operación del condensador.

4.6.1 Modelos Cigre

Basándose en los modelos CIGRE para la simulación de flujo armónico se tiene:

○ Sistema de distribución

Si un mejor conocimiento del sistema de distribución no es posible, este puede ser representado por una reactancia X y una resistencia R de la cual los valores a la frecuencia fundamental son obtenidos de las simulaciones del sistema en condiciones de cortocircuito.

$$X_h = hX_1 \quad (4.7)$$

$$R_h = \sqrt{h}R_1 \quad (4.8)$$

X_h : Reactancia a la frecuencia del armónico h .

R_h : Resistencia a la frecuencia fundamental.

X_1 : Reactancia a la frecuencia del armónico h .

R_1 : Resistencia a la frecuencia fundamental.

○ Transformador

El transformador es representado por una impedancia Z_h formada por una resistencia R_s en serie con un circuito consistente en una reactancia X_h en paralelo con una resistencia R_p .

$$X_h = hX_1 \quad (4.9)$$

$$R_s = \frac{X_1}{\tan \psi_1} \quad (4.10)$$

$$R_p = 10 \cdot X_1 \cdot \tan \psi_1 \quad (4.11)$$

$$\tan \psi_1 = \exp. [0.693 + 0.796 \cdot \ln(S_n) - 0.0421 \cdot (\ln(S_n))^2],$$

S_n = Capacidad del transformador (MVA)

Condensador

El condensador es representado por una reactancia X_h , cuyo valor varia inversamente proporcional a la frecuencia.

$$X_h = X_1 / h \quad (4.12)$$

4.6.2 Calculo de Corrientes y Tensiones Armónicas

En base al circuito mostrado en la figura No 4.1, las mediciones realizadas en el alimentador en baja tensión y los modelos CIGRE presentados se realizaron los cálculos correspondientes a las frecuencias de 420 Hz (armónico 7), por su cercanía a la frecuencia de resonancia, y 350 Hz (armónico 5) por ser el principal armónico generado dentro de la planta.

En el caso del análisis para el armónico 5, se utilizó la corriente armónica registrada en condiciones de máxima carga (2.79% I_1).

Los resultados obtenidos para la frecuencia de 350 Hz (armónico 5) se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.9: Resultados para el armónico 5

Calculos en Baja Tension:			
Informacion del Sistema Electrico			
Armonico	5	Frecuencia del Sistema	60 Hz
Potencia de CC en Media Tension	250 MVA	Impedancia de CC del Sistema MV	0.00021
Relacion R/X de la impedancia de CC	15 %	Datos del Condensador	230 Volts 60 Hz
Capacidad Nominal del Condensador	240 kVAr	Capacidad del Condensador:	240 kVAr
Nominal Bus Voltage:	230 Volts	Carga de la Planta:	500 kVA
Corriente Nominal del Condensador:	602.5 Amps	Capacitancia del condensador (wye):	12034.40 uF
Impedancia del Condensador (wye):	-0.2204	Compensacion suministrada:	240 kVAr
Corriente en el condensador:	602.5 Amps	Tension armonica externa	0 % Fund
Capacidad del transformador:	500 kVA	Corriente armonica de la carga:	35.0 Amps
Tencion de CC del transformador	4.4 %	Total de Corriente Armonica	31.5 Amps
Corriente armonica de la carga:	2.79 % Fund		
Corriente armonica del sistema MV:	0.0000 Amps		
Calculos en el condensador:			
Corriente RMS :	603.3 Amps	Tension Fundamental:	230.0 Volts
Tension armonica:	2.4 Volts	Maximo Pico de Tension:	328.7 Volts
Tension RMS :	230.0 Volts	Maximo Pico de Corriente:	653.2 Amps

De los resultados obtenidos apreciamos que se originan entre bornes del condensador una tensión armónica de 2.4 voltios, produciendo la circulación de una corriente armónica de 31.5 amperios.

En el caso del análisis para el armónico 7, se utilizó la corriente armónica registrada en condiciones de máxima carga (0.7% I_1).

Los resultados obtenidos para la frecuencia de 420 Hz (armónico 7) se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.10: Resultados para el armónico 7

Calculos en Baja Tension:			
Informacion del Sistema Electrico			
Armonico	7	Frecuencia del Sistema	60 Hz
Potencia de CC en Media Tension	250 MVA	Impedancia de CC del Sistema MV	0.00021
Relacion R/X de la impedancia de CC	15 %	Datos del Condensador	230 Volts 60 Hz
Capacidad Nominal del Condensador	240 kVAr	Capacidad del Condensador:	240 kVAr
Nominal Bus Voltage:	230 Volts	Carga de la Planta:	500 kVA
Corriente Nominal del Condensador:	602.5 Amps	Capacitancia del condensador (wye):	12034.40 uF
Impedancia del Condensador (wye):	-0.2204	Compensacion suministrada:	240 kVAr
Corriente en el condensador:	602.5 Amps	Tension armonica externa	0 % Fund
Capacidad del transformador:	500 kVA	Corriente armonica de la carga:	6.8 Amps
Tencion de CC del transformador	4.4 %	Total de Corriente Armonica	13.8 Amps
Corriente armonica de la carga:	0.7 % Fund		
Corriente armonica del sistema MV:	0.0 Amps		
Calculos en el condensador:			
Corriente RMS :	602.8 Amps	Tension Fundamental:	230.0 Volts
Tension armonica:	0.8 Volts	Maximo Pico de Tension:	328.3 Volts
Tension RMS :	230.0 Volts	Maximo Pico de Corriente:	652.2 Amps

De los resultados obtenidos apreciamos que se originan entre bornes del condensador una tensión armónica de 0.8 voltios, produciendo la circulación de una corriente armónica de 13.8 amperios.

Los resultados de los análisis para la quinta y séptima armónica se presentan en el siguiente cuadro, en el cual se aprecia una operación dentro de los límites permitidos por la norma IEEE Std 18-1992 para condensadores.

Cuadro 4.11: Resultados para los armónicos 5 y 7

Cálculos en Baja Tensión:			
Información del Sistema Eléctrico			
Armonico	5-7	Frecuencia del Sistema	60 Hz
Potencia de CC en Media Tension	250 MVA	Impedancia de CC del Sistema MV	0.0002
Relacion R/X de la impedancia de CC	15 %	Datos del Condensador	230 Volts 60 Hz
Capacidad Nominal del Condensador	240 kVAr	Capacidad del Condensador:	240 kVAr
Nominal Bus Voltage:	230 Volts	Carga de la Planta:	500 kVA
Corriente Nominal del Condensador:	602.5 Amps	Capacitancia del condensador (wye):	12034.40 uF
Impedancia del Condensador (wye):	-0.220	Compensacion suministrada:	240 kVAr
Corriente en el condensador:	602.5 Amps	Tension armonica externa	0.00 % Fund
Capacidad del transformador:	500 kVA	Corriente armonica de la carga:	36.1 Amps
Tencion de CC del transformador	4.4 %	Total de Corriente Armonica	34.4 Amps
Corriente armonica de la carga:	2.9 % Fund		
Corriente armonica del sistema MV:	0.0 Amps		
Cálculos en el condensador:			
Corriente RMS :	603.4 Amps	Tension Fundamental:	230.0 Volts
Tension armonica:	2.5 Volts	Maximo Pico de Tension:	232.5 Volts
Tension RMS :	230.0 Volts	Maximo Pico de Corriente:	853.4 Amps
LIMITES: (IEEE Std 18-1992)			
	Limit	Actual	Limit Actual
Tension Pico:	120%	101.1% KVAr:	135% 100.2%
Corriente:	180%	100.2% Tension RMS :	110% 100.0%

De los cálculos desarrollados apreciamos que se originan entre bornes del condensador una tensión armónica de 2.5 voltios, lo que origina un THD de 1.1%, y una corriente armónica de 34.4 amperios, en el anexo D se muestra el detalle de los cálculos realizados.

Asimismo se pudo obtener la curva de impedancia del circuito condensador – sistema de distribución, el cual se presenta en la siguiente figura:

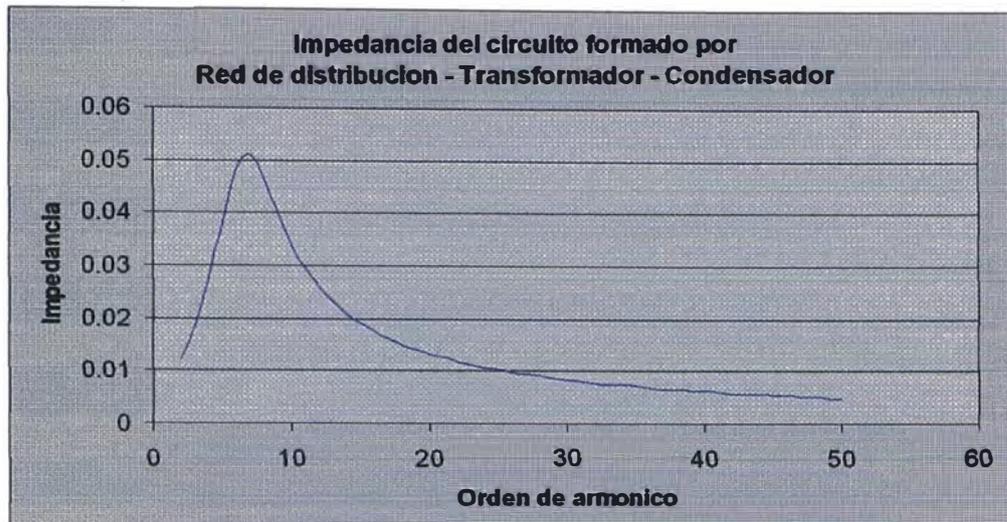


Fig. No 4.3: Impedancia Paralelo.

Se aprecia en la figura que el máximo valor de la impedancia del circuito se presenta en el armónico 7, dicho valor de impedancia y la corriente armónica respectiva originan una tensión armónica entre los bornes del condensador que a su vez producen la circulación de corrientes armónicas a través del condensador. A efectos de validar los resultados obtenidos, se simuló en la versión DEMO del programa Winharmo el circuito utilizado para los análisis respectivos, generándose los mismos resultados obtenidos en base a los cálculos realizados, en el anexo E se presentan los resultados del programa Winharmo.

CAPITULO V

PROPUESTA DE COMPENSACIÓN REACTIVA

5.1 Compensación Globalizada

Debido a las continuas variaciones de la demanda y el reducido espacio disponible en cada uno de los subtableros de distribución, se plantea la instalación de un sistema de compensación reactiva del tipo global.

La compensación reactiva a instalar en la planta industrial deberá contar con un sistema automático para la regulación de la potencia reactiva a compensar.

El banco de condensadores necesario para compensar el exceso de potencia reactiva necesaria será de una capacidad de 240 kVAr a un nivel de tensión de 0.23 kV.

Cabe resaltar que se seleccionó un banco de condensadores de 240 kVAR por ser una potencia estándar. Con este banco se estaría logrando compensar la planta a un factor de potencia de 0.98 con un nivel de tensión de 0.23 kV.

La ubicación del banco de condensadores será en la subestación eléctrica de la planta industrial conectado a la barra de 0.23 kV.

5.2 Banco de Condensadores de Regulación Automática

De acuerdo a las características del diagrama de carga, obtenido de acuerdo a las mediciones realizadas durante los trabajos de campo, se observa que en condiciones de mínima carga, la cual ocurre generalmente desde las 22:00 horas de los días lunes hasta las 07:00 horas de los días martes, se utiliza una potencia reactiva promedio de 81.26 kVAr.

Asimismo durante el período de máxima carga, la cual ocurre entre las 09:00 horas hasta las 20:00 horas, la potencia reactiva promedio utilizada es de 286.22 kVAr.

El diagrama de carga para un día útil de trabajo de la planta industrial es el siguiente:

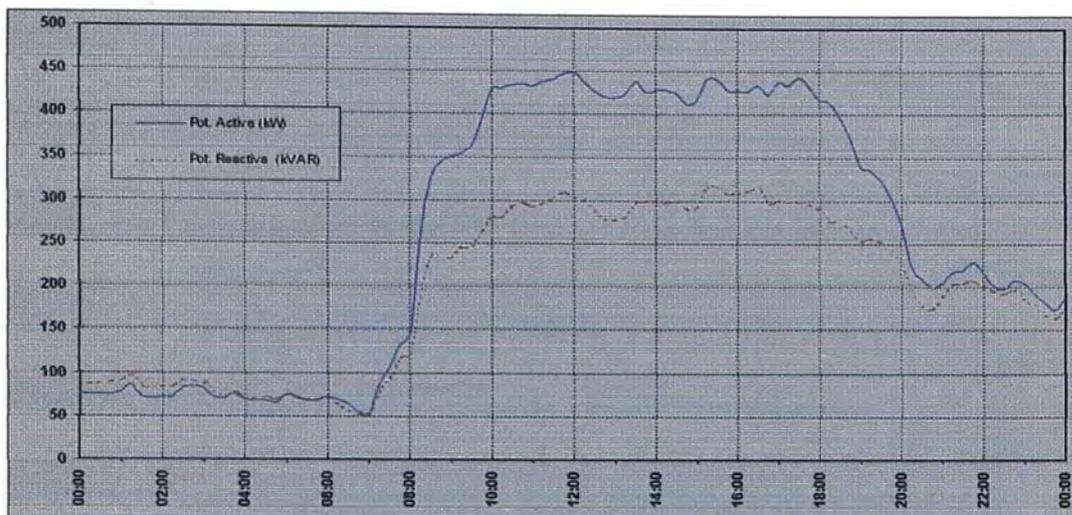


Fig. No 5.1: Diagrama de Carga

Tomando en consideración que los reguladores automáticos de potencia reactiva requieren, para un mejor desempeño del banco de condensadores, que cada uno de los pasos de compensación sean múltiplos del primero y que un elevado número de pasos elevaría innecesariamente el costo económico del banco de condensadores, se requerirá solamente seis pasos de compensación, de los cuales los dos primeros serán de 24 kVAr cada uno y serán utilizados durante la operación de la planta en condiciones de baja carga, los últimos cuatro pasos serán de 48 kVAr cada uno y serán utilizados durante la operación de la planta en condiciones de máxima carga.

Las características nominales del banco automático de compensación serán las siguientes:

Cuadro 5.1: Características de Banco de Condensadores

DESCRIPCIÓN	POTENCIA (kVAr)	TENSIÓN NOMINAL (V)	CORRIENTE NOMINAL (A)	FRECUENCIA (HZ)
Condensadores de BT.	2 X 24 + 4 X 48	230	602	60

El banco de condensadores estará constituido por:

- 01 Interruptor general regulable de 3 x 800 A. 240 V
- 20 Condensadores de potencia trifásicos de 12 kVAr, 230 V.
- 10 Contactores diseñados para la operación de condensadores.
- 30 Fusibles
- 01 Conjunto de Barras, Cableado y Gabinete.

- El control automático estará constituido por:
- 01 regulador electrónico de potencia reactiva de 6 pasos y accesorios.
- 01 transformador de corriente de 1500/5 A.

Cada módulo de condensadores deberá poseer fusibles de protección de 1.65 veces la corriente nominal. El interruptor termomagnético deberá estar calibrado a 1.35 veces la corriente nominal. En Figura N° 5.2 se muestra el esquema unifilar con la ubicación del banco de condensadores a implementar.

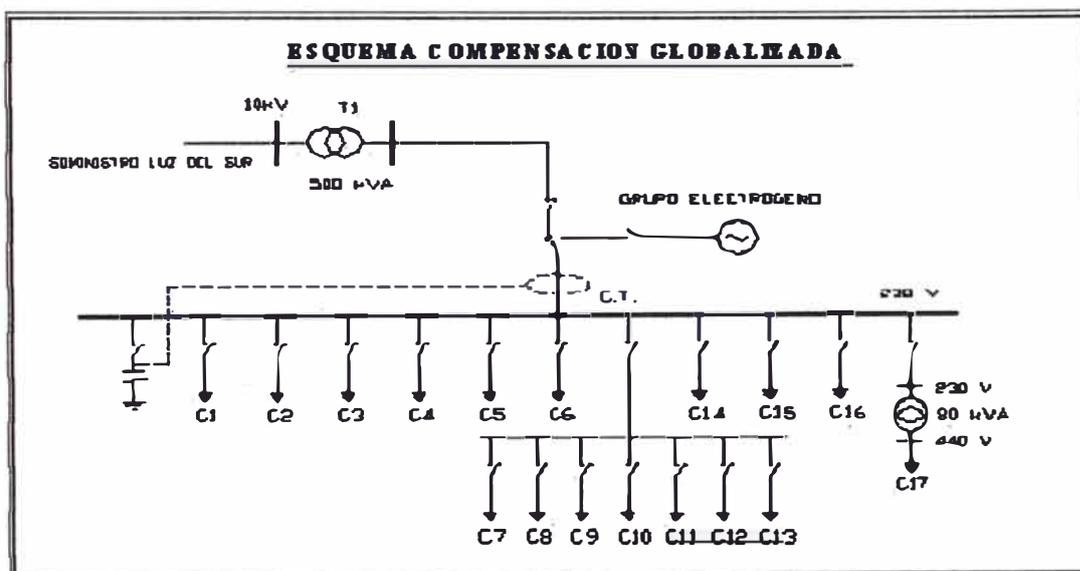


Fig. No 5.2: Esquema Unifilar

CAPITULO VI INVERSIONES Y BENEFICIOS

6.1 Inversiones

Para la implementación de esta mejora se deberá realizar una inversión que consistirá en la adquisición del banco de condensadores más su respectiva instalación. Dicha inversión asciende a los US\$ 8 770 dólares, la cotización realizada para la obtención de dicho monto se muestra en el anexo F

6.2 Beneficios Económicos

Los ahorros a lograr mediante la compensación reactiva serán los costos actuales que se tienen por el consumo de energía reactiva de la red de Luz del Sur, ya que al instalar los bancos de compensación reactiva se logrará mejorar el factor de potencia y eliminar los excesos de consumos de energía reactiva; por lo tanto los ahorros se calculan bajo el siguiente análisis:

Tomando como referencia el consumo promedio de los últimos 12 meses, registrado por la concesionaria Luz del Sur.

○ Consumo mensual de energía reactiva	107 770 kVARh/mes
○ Energía Reactiva a Facturarse	72 594 kVARh/mes
○ Ahorro energético	871 128 kVARh/año

De acuerdo al pliego tarifario correspondiente a la empresa distribuidora Luz del Sur, el cargo por energía reactiva que exceda el 30% del total de la energía activa, sin IGV, es de 4.20 ctm. S/./kVARh. El pliego tarifario se muestra en el anexo G. Por lo tanto el ahorro económico será:

$$AE = 871\ 128\ \text{kVARh/año} \times 0.0127\ \text{US\$/kVARh} = 11\ 087\ \text{US\$}$$

Ahorro Económico = 11 087 US\$/año

Con estos ahorros a obtener se amortizaría la inversión en un periodo menor a un año.

6.3 Beneficios Adicionales

Además de los beneficios económicos a obtener por la eliminación de los consumos de energía reactiva con los condensadores, se lograrán otras mejoras tales como:

- Alivio de carga del transformador que actualmente sobrepasa su capacidad en horas de mayores consumos.
- Mayor disponibilidad de potencia del transformador principal de 500 kVA, no teniendo necesidad de ampliar su potencia en el corto plazo.
- Menores caídas de tensión por efectos de la alta corriente reactiva.
- Reducción de la corriente de operación en el interruptor principal, que evitara las constantes interrupciones en la planta industrial y las pérdidas de producción.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. De los cálculos efectuados para las condiciones actuales de consumos, se requiere de un banco automático de 240 kVAR a instalarse en el tablero general ubicado en la subestación principal. La inversión total del sistema de compensación reactiva asciende a un monto de US\$ 8 770 dólares americanos.
2. El regulador automático haría ingresar los bancos de acuerdo a los requerimientos del proceso de producción. Mediante la mejora del factor de potencia en la planta industrial, se van a lograr ahorros anuales del orden de los US\$ 11 087 dólares. Estos ahorros se obtendrán por la eliminación del pago por consumo de energía reactiva.
3. Las inversiones en el sistema de compensación de control automático a implementar, se recuperan en un periodo menor a un año.
4. La mejora del factor de potencia aliviará la carga actual del transformador de potencia, ya que dicho transformador actualmente opera en condiciones de sobrecarga en algunas horas. Esto significa que no sería necesario incrementar la potencia del transformador bajo las condiciones actuales de operación de la planta.
5. Con la instalación del banco de compensación automático se reducirá el máximo valor de la corriente eléctrica en condiciones de plena carga, cabe mencionar que la corriente nominal de operación del transformador de potencia es de 1 255.1 A y la corriente nominal del interruptor principal es de 1250 A, por lo tanto el transformador se encuentra trabajando en condiciones de sobre carga y el interruptor opera con riesgo de interrumpir el fluido eléctrico. Mediante la compensación reactiva definitivamente se reducirá corrientes de operación del transformador, interruptor principal y de los conductores de suministro. El detalle del Banco de Condensadores se muestra en el anexo H.

Recomendaciones

- 1) La corriente nominal de los cables o barras conductoras, equipos de conexión y desconexión, cuchillas, etc. Deberán ser, como mínimo, el 135% de la corriente nominal capacitiva que soportan. Con excepción de los fusibles cuya corriente nominal no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal de los condensadores.
- 2) El voltajes nominal de los contactores, interruptores, fusibles, etc., no debe ser inferior al voltaje de línea a la que estén conectados a los condensadores. Los condensadores deberán contar con un dispositivo de descarga. Este dispositivo puede ser interno o externo a los tanques de los condensadores y pueden estar conectado permanentemente, o bien conectarse automáticamente al salir de la operación los condensadores. El accionamiento de los dispositivos de descarga no deben efectuarse manualmente.
- 3) Durante la entrada en operación de los condensadores, se producen sobrecorrientes muy importantes de elevado valor y elevada frecuencia (3 a 15 kHz) durante un período muy breve de 1 a 2 ms. Para evitar estas elevadas corrientes es recomendable la adquisición de contactores especialmente diseñados para la operación de condensadores que aseguran en el momento de la entrada en operación del condensador, la conexión en serie de resistencias que limitan la corriente de inserción del banco capacitivo.

ANEXO A

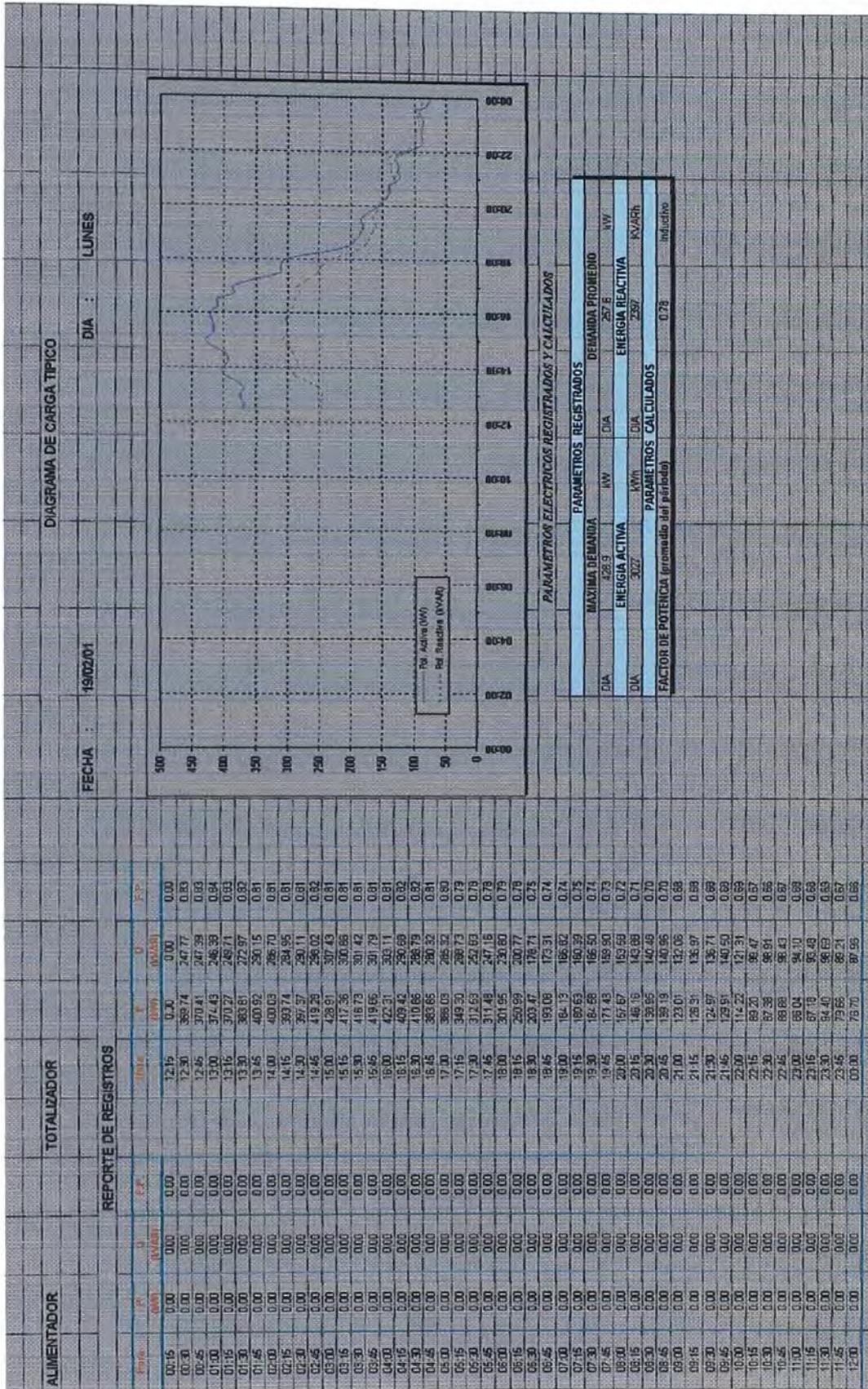
CIRCUITO	CARGA
C1	COMPRESORAS DE TORNILLO GA18 GA 22. HORNO DE SECADO ÁREA LÍQUIDOS. LAVADO Y ENVASADO ÁREA LÍQUIDOS.
C2	PLANTA DE PLÁSTICOS 1ER PISO (MAQUINA # 2).
C3	ILUMINACIÓN Y TOMACORRIENTES ÁREA ACONDICIONADO DE PENICILÍNICOS. CIRCUITO DE FUERZA PENICILÍNICOS (CÁPSULAS, TABLETAS, RECUBRIMIENTO). MAQUINA FARMOMAC ÁREA LÍQUIDOS. BLISTERA OMMA ÁREA PENICILÍNICOS. ILUMINACIÓN DE PENICILÍNICOS (LAVADO, RECUBRIMIENTO, POLVO SECO, CUARENTENA).
C4	ÁREAS ESTÉRILES NO 1, NO 2 Y NO 3. MONTACARGA TIPO ASCENSOR NO 2. ELECTRO BOMBAS DE TANQUES NO 1 Y NO 2 DE 7000 Lts. Y 9200 Lts.. FLUJO LAMINAR (ENVASADO) SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN. ENVASADO DE SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN. LIOFILIZADOR. HORNO DE ÁREA ESTÉRIL NO 1 ÁREA ENVASADO DE ELECTROLIGHT 1ER PISO. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO LÍQUIDOS. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO SELLADO SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO 120 000 BTU 2DO PISO.
C5	PLANTA DE PLÁSTICOS 1EN PISO (MAQUINA.. #1) ELECTRO BOMBA DE POZO PROFUNDO. FLUJO LAMINAR SALA DE PESADAS (ALMACÉN DE MATERIAS PRIMAS). EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO SALA DE PESADAS. ILUMINACIÓN DE ALMACENES NO 1 Y NO 2. EQUIPO DE AIRE FRÍO DE AUTOCLAVES.

CIRCUITO	CARGA
C6	<p>HORNO DE ÁREA ESTÉRIL NO 3. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO ÁREA ESTÉRIL NO 3 EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO ENVASADO SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN. COMPRESOR DE PENICILÍNICOS (ÁREA ESTÉRIL). ALMACÉN NO 2 (CANJES Y DEVOLUCIONES). DPTO. CONTROL DE CALIDAD. DPTO. MANTENIMIENTO. EQUIPOS OSMOSIS INVERSA (MILLIRO 1000 Y MILLIRO 2000) ELECTRO BOMBAS NO 4, NO 5 Y NO 6, CISTERNA GRANDE. SALA DE CALDEROS. PREPARADO DE HEMODIÁLISIS. HORNO DE INYECTABLES. ALUMBRADO DE NUEVA ÁREA INYECTABLES. COMEDOR. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO EN DPTO. CONTROL DE CALIDAD. AUTOCLAVE " F ". ALUMBRADO DE PATIO CENTRAL , TORREÓN. ALUMBRADO EXTERIOR.</p>
C7	<p>ALUMBRADO DE ÁREAS ESTÉRILES NO 1, 2 Y 3. ALUMBRADO DE ENVASADO ÁREA SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN. TOMACORRIENTES DE ÁREA ESTÉRILES. TOMACORRIENTES DE ACONDICIONADO ÁREA SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN.</p>
C8	<p>ALUMBRADO DE DPTOS. PERSONAL, LEGAL, COMPRAS, DIRECCIÓN EJECUTIVA, LÍNEA STRUNCK. ALUMBRADO DE DPTOS. COMPUTO, VENTAS, CONTABILIDAD, FINANZAS, SALA DE REUNIONES 3EN PISO. CENTRAL TELEFÓNICA. TOMACORRIENTES DPTOS. PERSONAL, LEGAL, COMPRAS, DIRECCIÓN EJECUTIVO, LÍNEA STRUNCK. TOMACORRIENTES DPTOS. COMPUTO, VENTAS, CONTABILIDAD, FINANZAS, SALA DE REUNIONES 3EN PISO.</p>

CIRCUITO	CARGA
C9	<p>MONTACARGA TIPO ASCENSOR No 1 LAVADORA DE AMPOLLAS SEMIAUTOMÁTICA STRUNCK – 2DO PISO. LAVADORA ROTATIVA STRUNCK. LAVADORA DE VIALES “ IMULSA “ PRESIÓN POSITIVA DE ÁREA LAVADO DE INYECTABLES. ENVASADORAS STRUNCK Y CIONI. AUTOCLAVE DE INYECTABLES. ILUMINACIÓN 2DO PISO. PRESIÓN POSITIVA PREPARADO DE SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN. PREPARADO DE SOLUCIONES DE GRAN VOLUMEN. FLUJOS LAMINARES DE ÁREA DE INYECTABLES.</p>
C10	<p>ALUMBRADO DE DPTO. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, SALA DE REUNIONES, GERENCIA DE PRODUCCIÓN, GERENCIA DE MANUFACTURA, GARITA DE CONTROL, DPTO. INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO, CAJA.</p>
C11	<p>TOMACORRIENTES DE COCINA DE DIRECCIÓN EJECUTIVA</p>
C12	<p>ALUMBRADO DE SUBESTACIÓN Y GRUPO ELECTRÓGENO. TOMACORRIENTES DE SUBESTACIÓN Y GRUPO ELECTRÓGENO.</p>
C13	<p>RESERVA</p>
C14	<p>ALUMBRADO 4to PISO. TOMACORRIENTES DE 4to PISO. BLISTERA SIRIUS - 4to PISO. HORNO DE SECADO GLATT ÁREA SÓLIDOS. CIRCUITO DE FUERZA ÁREA SÓLIDOS. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO ÁREA SÓLIDOS. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO DEPARTAMENTO DE PERSONAL.</p>

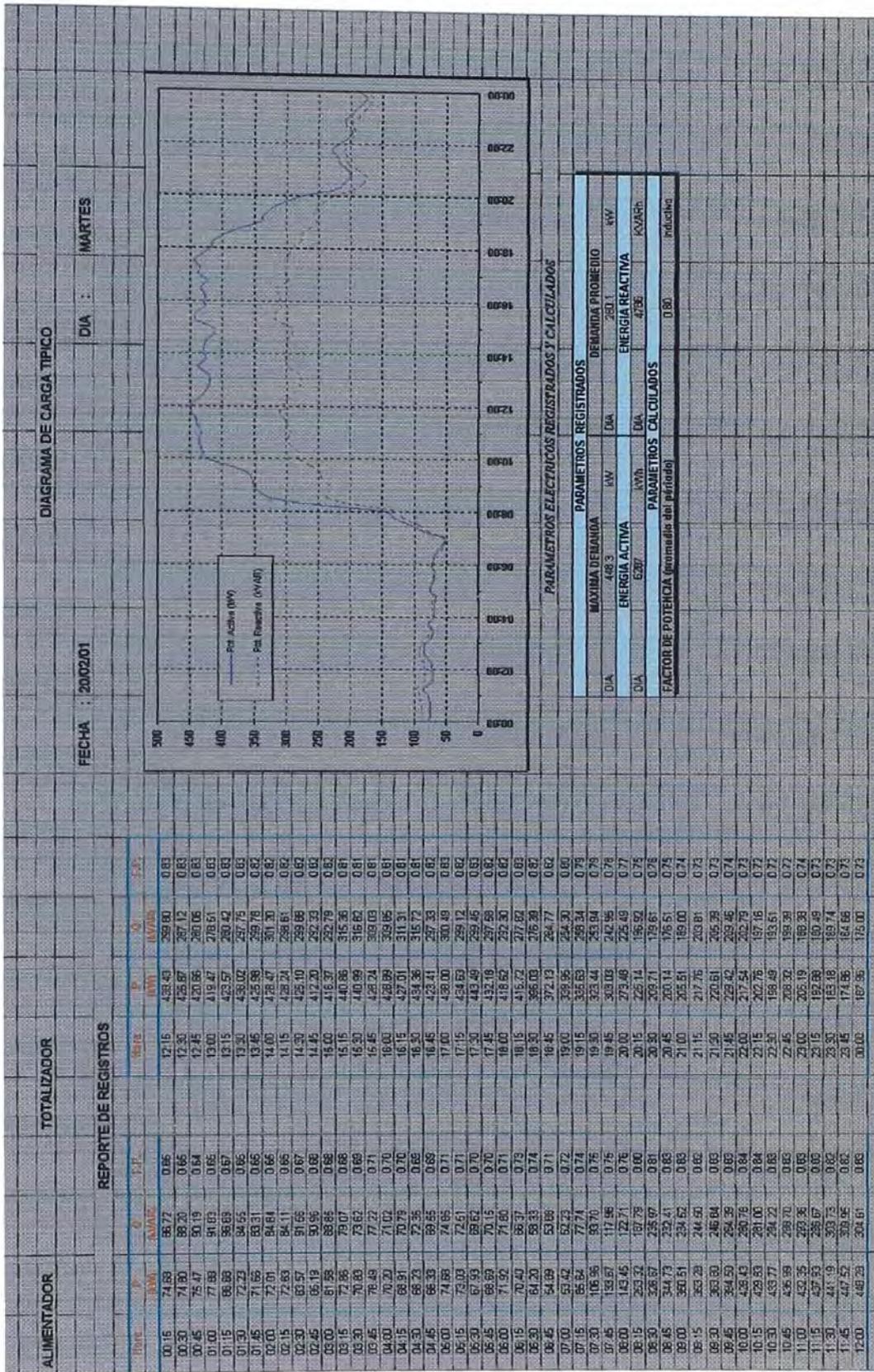
CIRCUITO	CARGA
C14	<p>PRESIÓN POSITIVA DE ÁREA SÓLIDOS. TERMO SELLADORA 4to PISO. REVISADORA SEMIAUTOMÁTICA 4to PISO. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO ÁREA ACONDICIONADO DE PENICILÍNICOS. EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO BLISTERA OMMA, BLISTERA SIRIUS, MAQUINA FARMATIC, LÍNEA STRUNCK (COMPACTO). EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO DIRECCIÓN EJECUTIVA (SPLIT DECORATIVO).</p>
C15	<p>EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO ÁREA ESTÉRILES NO1, NO2, ÁREAS INYECTABLES, LÍNEA STRUNCK (TIPO SPLIT). EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO DPTO. COMPUTO, GERENCIA DE MANUFACTURA . AUTOCLAVES "A", "B", "C", "D". ALUMBRADO DE AUTOCLAVES. PRESIÓN POSITIVA DE PREPARADO DE INYECTABLES. PRESIÓN POSITIVA DE ÁREAS ESTÉRILES NO1, NO2 Y NO3. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO DPTO. FINANZAS, DIRECCIÓN EJECUTIVA , SALA DE REUNIONES 3EN PISO, GERENCIA GENERAL. PRESIÓN POSITIVA Y FLUJO LAMINAR DE LÍNEA STRUNCK. EXTRACTORES DE RECUBRIMIENTO ÁREA SÓLIDOS.</p>
C16	<p>EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO ÁREA ESTÉRIL DE PENICILÍNICOS. FLUJO LAMINAR ÁREA ESTÉRIL DE PENICILÍNICOS. EQUIPO DE PRESIÓN POSITIVA DE ÁREA ESTÉRIL PENICILÍNICOS. EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO ÁREA PENICILÍNICOS (CÁPSULAS, TABLETAS, JARABE SECO). EQUIPO DE AIRE ACONDICIONADO REVISADO DE AMPOLLAS. HORNO DE ÁREA ESTÉRIL DE PENICILÍNICOS.</p>
C17	LÍNEA STRUNCK (FUERZA)

ANEXO B

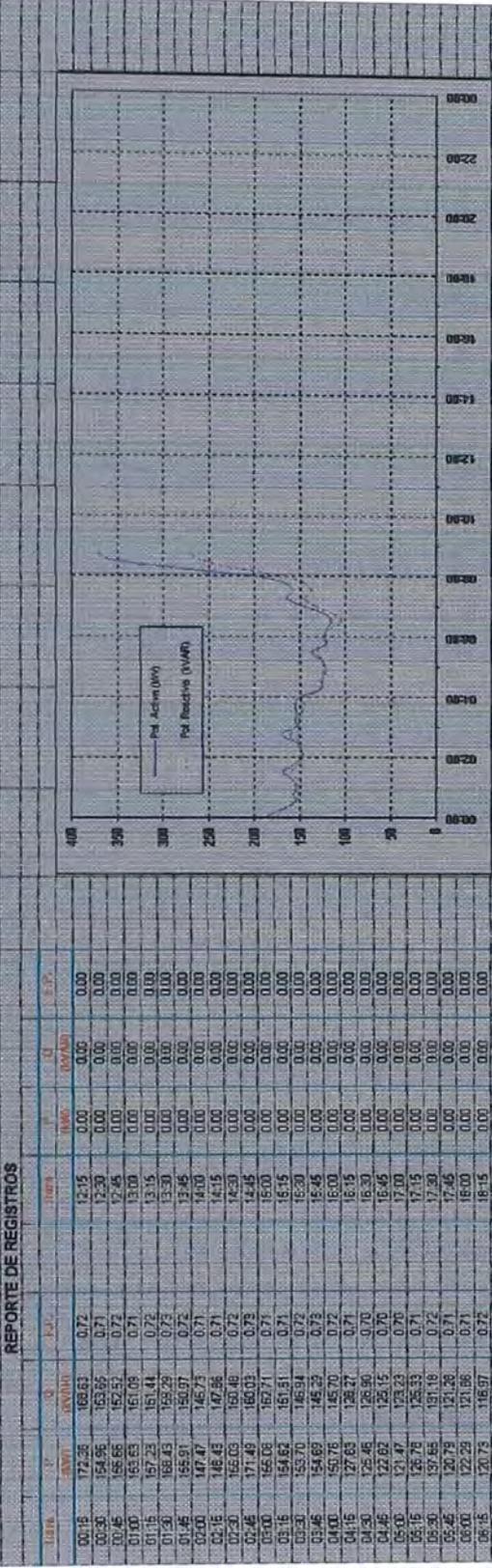


REPORTE DE REGISTROS

Fecha	P _{act} (kW)	Q _{react} (kVARh)	FP	Max P _{act} (kW)	Max Q _{react} (kVAR)	U _{med} (V)	F _{med} (Hz)	P _{act} (kW)	Q _{react} (kVAR)	FP
00:15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:30	0.00	0.00	0.00	12.30	369.74	247.77	0.83	0.00	0.00	0.00
00:45	0.00	0.00	0.00	12.46	370.41	247.39	0.83	0.00	0.00	0.00
01:00	0.00	0.00	0.00	13.00	374.43	246.39	0.84	0.00	0.00	0.00
01:15	0.00	0.00	0.00	13.16	370.27	245.71	0.83	0.00	0.00	0.00
01:30	0.00	0.00	0.00	13.30	363.81	272.97	0.82	0.00	0.00	0.00
01:45	0.00	0.00	0.00	13.45	400.92	250.15	0.81	0.00	0.00	0.00
02:00	0.00	0.00	0.00	14.00	400.03	256.70	0.81	0.00	0.00	0.00
02:15	0.00	0.00	0.00	14.15	393.74	254.95	0.81	0.00	0.00	0.00
02:30	0.00	0.00	0.00	14.30	397.57	250.11	0.81	0.00	0.00	0.00
02:45	0.00	0.00	0.00	14.45	419.26	256.02	0.82	0.00	0.00	0.00
03:00	0.00	0.00	0.00	15.00	428.91	307.43	0.81	0.00	0.00	0.00
03:15	0.00	0.00	0.00	15.15	417.36	300.66	0.81	0.00	0.00	0.00
03:30	0.00	0.00	0.00	15.30	416.73	301.42	0.81	0.00	0.00	0.00
03:45	0.00	0.00	0.00	15.45	419.65	301.79	0.81	0.00	0.00	0.00
04:00	0.00	0.00	0.00	16.00	422.31	303.11	0.81	0.00	0.00	0.00
04:15	0.00	0.00	0.00	16.15	409.42	250.69	0.82	0.00	0.00	0.00
04:30	0.00	0.00	0.00	16.30	410.66	256.79	0.82	0.00	0.00	0.00
04:45	0.00	0.00	0.00	16.45	383.65	260.32	0.81	0.00	0.00	0.00
05:00	0.00	0.00	0.00	17.00	355.09	256.32	0.80	0.00	0.00	0.00
05:15	0.00	0.00	0.00	17.15	349.50	256.73	0.79	0.00	0.00	0.00
05:30	0.00	0.00	0.00	17.30	372.59	254.93	0.79	0.00	0.00	0.00
05:45	0.00	0.00	0.00	17.45	311.48	247.16	0.78	0.00	0.00	0.00
06:00	0.00	0.00	0.00	18.00	301.95	234.80	0.79	0.00	0.00	0.00
06:15	0.00	0.00	0.00	18.15	250.99	200.77	0.78	0.00	0.00	0.00
06:30	0.00	0.00	0.00	18.30	203.47	176.71	0.75	0.00	0.00	0.00
06:45	0.00	0.00	0.00	18.45	193.09	173.31	0.74	0.00	0.00	0.00
07:00	0.00	0.00	0.00	19.00	184.13	165.62	0.74	0.00	0.00	0.00
07:15	0.00	0.00	0.00	19.15	197.63	160.39	0.75	0.00	0.00	0.00
07:30	0.00	0.00	0.00	19.30	184.66	165.50	0.74	0.00	0.00	0.00
07:45	0.00	0.00	0.00	19.45	171.43	159.90	0.73	0.00	0.00	0.00
08:00	0.00	0.00	0.00	20.00	157.67	153.59	0.72	0.00	0.00	0.00
08:15	0.00	0.00	0.00	20.15	146.16	143.89	0.71	0.00	0.00	0.00
08:30	0.00	0.00	0.00	20.30	139.95	140.46	0.70	0.00	0.00	0.00
08:45	0.00	0.00	0.00	20.45	139.19	140.96	0.70	0.00	0.00	0.00
09:00	0.00	0.00	0.00	21.00	133.01	133.05	0.68	0.00	0.00	0.00
09:15	0.00	0.00	0.00	21.15	125.51	124.97	0.69	0.00	0.00	0.00
09:30	0.00	0.00	0.00	21.30	124.97	135.71	0.69	0.00	0.00	0.00
09:45	0.00	0.00	0.00	21.45	129.91	140.50	0.69	0.00	0.00	0.00
10:00	0.00	0.00	0.00	22.00	114.22	121.31	0.69	0.00	0.00	0.00
10:15	0.00	0.00	0.00	22.15	89.20	86.47	0.67	0.00	0.00	0.00
10:30	0.00	0.00	0.00	22.30	87.36	96.84	0.65	0.00	0.00	0.00
10:45	0.00	0.00	0.00	22.45	89.68	96.43	0.67	0.00	0.00	0.00
11:00	0.00	0.00	0.00	22.00	85.04	94.10	0.69	0.00	0.00	0.00
11:15	0.00	0.00	0.00	22.16	67.13	65.48	0.69	0.00	0.00	0.00
11:30	0.00	0.00	0.00	23.30	94.40	96.69	0.69	0.00	0.00	0.00
11:45	0.00	0.00	0.00	23.45	79.85	86.24	0.67	0.00	0.00	0.00
12:00	0.00	0.00	0.00	03.00	75.70	87.95	0.65	0.00	0.00	0.00



ALIMENTADOR	TOTALIZADOR	REPORTE DE REGISTROS									
Time	P (kW)	Q (kVAR)	P.F.	WATE	P (kW)	Q (kVAR)	P.F.	WATE	P (kW)	Q (kVAR)	P.F.
00:15	74.89	86.72	0.86	127.16	438.43	299.80	0.83				
00:30	71.80	88.20	0.85	127.30	426.87	287.12	0.83				
00:45	75.47	90.19	0.84	127.45	420.66	280.06	0.83				
01:00	71.88	91.83	0.85	130.00	419.47	278.61	0.83				
01:15	86.98	96.88	0.87	131.15	403.57	280.42	0.83				
01:30	72.23	84.95	0.85	131.30	450.02	297.75	0.83				
01:45	71.66	83.31	0.85	131.45	425.96	289.78	0.82				
02:00	72.01	84.81	0.85	140.00	478.47	301.30	0.82				
02:15	72.83	84.11	0.85	141.15	428.24	298.61	0.82				
02:30	83.57	91.65	0.87	143.30	425.10	299.88	0.82				
02:45	85.19	90.95	0.82	144.45	412.20	292.33	0.82				
03:00	81.58	88.84	0.88	150.00	416.37	292.79	0.82				
03:15	73.86	79.07	0.86	151.15	400.86	315.36	0.81				
03:30	70.80	73.62	0.89	151.30	410.99	316.82	0.81				
03:45	76.49	77.22	0.71	151.45	428.24	303.03	0.81				
04:00	70.20	71.02	0.70	160.00	428.98	303.05	0.81				
04:15	68.91	70.79	0.70	161.15	427.01	311.31	0.81				
04:30	68.23	72.35	0.68	161.30	434.36	315.72	0.81				
04:45	86.33	89.85	0.69	161.45	423.41	297.33	0.82				
05:00	74.88	74.65	0.71	170.00	438.00	300.49	0.83				
05:15	73.03	72.61	0.71	171.15	434.63	299.12	0.82				
05:30	67.93	69.62	0.70	171.30	443.49	293.45	0.83				
05:45	89.80	70.15	0.70	171.45	432.18	297.88	0.82				
06:00	71.92	71.85	0.71	180.00	418.62	292.30	0.82				
06:15	70.40	86.37	0.79	181.15	415.72	277.82	0.82				
06:30	84.20	88.33	0.74	181.30	385.03	276.28	0.82				
06:45	54.89	53.88	0.71	181.45	372.13	264.77	0.82				
07:00	50.42	52.23	0.72	190.00	359.96	254.30	0.80				
07:15	55.54	77.71	0.74	191.15	335.63	268.34	0.79				
07:30	105.96	93.70	0.76	191.30	333.44	253.84	0.78				
07:45	158.87	117.96	0.75	191.45	318.05	242.95	0.78				
08:00	143.45	122.71	0.76	200.00	273.46	225.69	0.77				
08:15	253.52	197.79	0.80	201.15	225.14	196.52	0.73				
08:30	326.57	238.97	0.81	201.30	209.71	179.61	0.78				
08:45	344.73	232.41	0.83	201.45	200.14	176.51	0.75				
09:00	360.51	234.62	0.83	210.00	205.51	189.00	0.74				
09:15	363.28	244.50	0.82	211.15	217.76	203.81	0.73				
09:30	363.80	246.84	0.82	211.30	220.61	205.28	0.73				
09:45	354.59	254.35	0.83	211.45	229.42	203.46	0.74				
10:00	426.43	290.76	0.84	220.00	217.54	202.79	0.73				
10:15	429.83	281.00	0.84	221.15	202.76	197.16	0.72				
10:30	433.77	294.22	0.83	221.30	198.49	193.51	0.72				
10:45	436.98	298.70	0.83	221.45	208.30	199.28	0.72				
11:00	422.35	292.38	0.83	230.00	205.19	188.38	0.74				
11:15	427.93	286.67	0.82	231.15	192.80	180.49	0.73				
11:30	441.19	303.73	0.82	231.30	183.18	183.74	0.73				
11:45	447.52	309.95	0.82	231.45	174.96	181.66	0.73				
12:00	480.28	304.61	0.83	00:00	167.96	176.80	0.73				



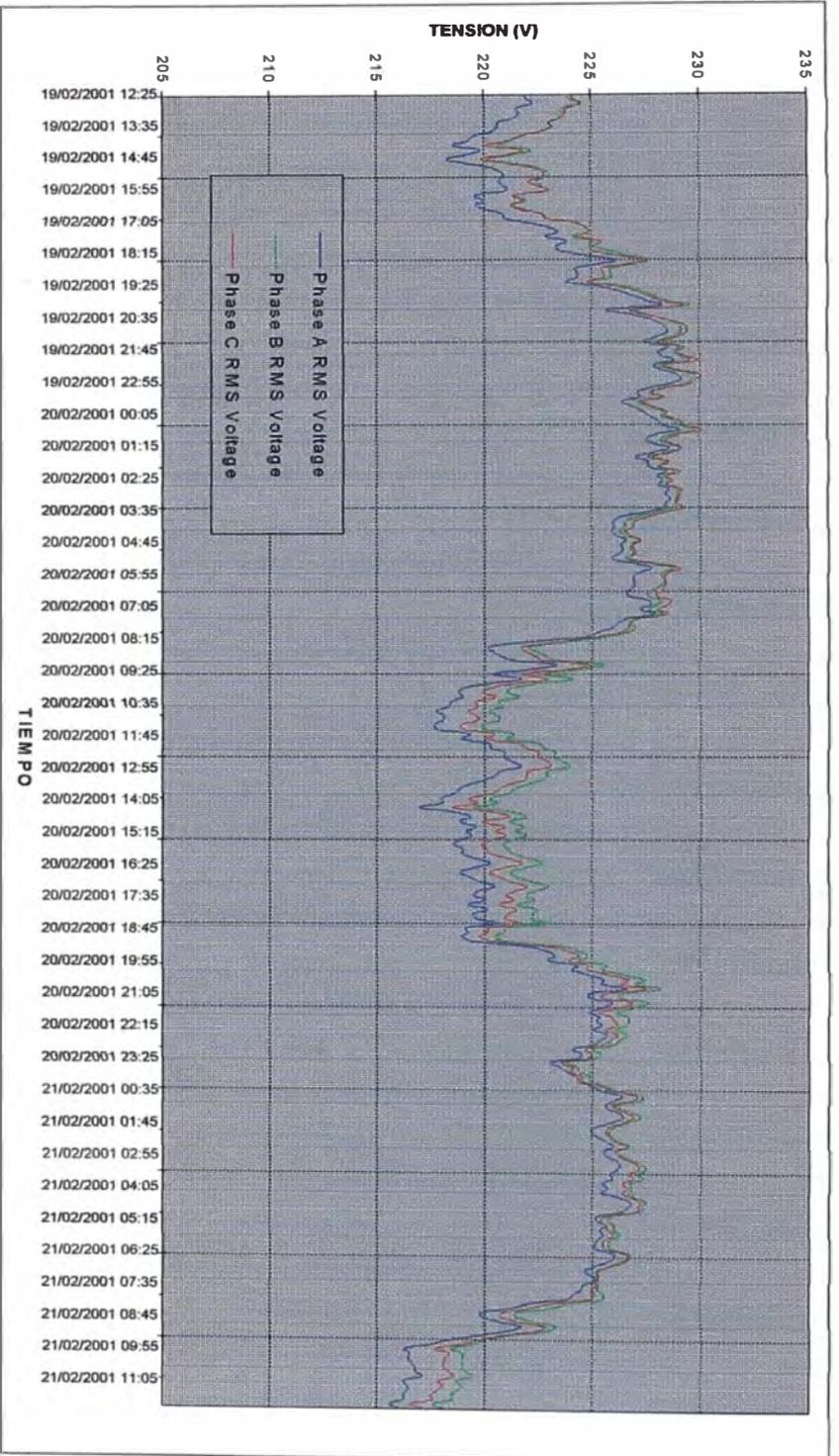
REPORTE DE REGISTROS

LIBR.	SWT	Q	FP	REPR	WAG	QV	E.P.
LIBR.	SWT	Q	FP	REPR	WAG	QV	E.P.
00:15	172.36	168.63	0.72	12.15	0.00	0.00	0.00
00:30	154.96	153.85	0.71	12.30	0.00	0.00	0.00
00:45	154.66	152.51	0.72	12.45	0.00	0.00	0.00
01:00	153.63	151.09	0.71	13.00	0.00	0.00	0.00
01:15	157.23	151.44	0.72	13.15	0.00	0.00	0.00
01:30	168.43	155.29	0.73	13.30	0.00	0.00	0.00
01:45	155.91	150.97	0.72	13.45	0.00	0.00	0.00
02:00	147.47	146.73	0.71	14.00	0.00	0.00	0.00
02:15	148.43	147.66	0.71	14.15	0.00	0.00	0.00
02:30	155.03	150.46	0.72	14.30	0.00	0.00	0.00
02:45	171.49	160.03	0.73	14.45	0.00	0.00	0.00
03:00	155.06	167.71	0.71	15.00	0.00	0.00	0.00
03:15	154.82	161.51	0.71	15.15	0.00	0.00	0.00
03:30	153.70	146.94	0.72	15.30	0.00	0.00	0.00
03:45	154.69	145.22	0.72	15.45	0.00	0.00	0.00
04:00	150.78	145.70	0.72	16.00	0.00	0.00	0.00
04:15	127.63	126.27	0.71	16.15	0.00	0.00	0.00
04:30	125.46	126.90	0.70	16.30	0.00	0.00	0.00
04:45	122.62	125.15	0.70	16.45	0.00	0.00	0.00
05:00	121.47	123.23	0.70	17.00	0.00	0.00	0.00
05:15	126.78	125.33	0.71	17.15	0.00	0.00	0.00
05:30	137.65	131.18	0.72	17.30	0.00	0.00	0.00
05:45	120.79	121.26	0.71	17.45	0.00	0.00	0.00
06:00	122.29	121.86	0.71	18.00	0.00	0.00	0.00
06:15	120.73	118.97	0.72	18.15	0.00	0.00	0.00
06:30	115.66	104.60	0.74	18.30	0.00	0.00	0.00
06:45	122.48	112.77	0.74	18.45	0.00	0.00	0.00
07:00	145.05	132.46	0.74	19.00	0.00	0.00	0.00
07:15	164.02	144.84	0.75	19.15	0.00	0.00	0.00
07:30	158.04	136.09	0.75	19.30	0.00	0.00	0.00
07:45	165.77	144.63	0.75	19.45	0.00	0.00	0.00
08:00	202.79	188.91	0.77	20.00	0.00	0.00	0.00
08:15	261.64	218.33	0.78	20.15	0.00	0.00	0.00
08:30	358.24	268.54	0.81	20.30	0.00	0.00	0.00
08:45	371.75	272.13	0.81	20.45	0.00	0.00	0.00
09:00	0.00	0.00	0.00	21.00	0.00	0.00	0.00
09:15	0.00	0.00	0.00	21.15	0.00	0.00	0.00
09:30	0.00	0.00	0.00	21.30	0.00	0.00	0.00
09:45	0.00	0.00	0.00	21.45	0.00	0.00	0.00
10:00	0.00	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00
10:15	0.00	0.00	0.00	22.15	0.00	0.00	0.00
10:30	0.00	0.00	0.00	22.30	0.00	0.00	0.00
10:45	0.00	0.00	0.00	22.45	0.00	0.00	0.00
11:00	0.00	0.00	0.00	23.00	0.00	0.00	0.00
11:15	0.00	0.00	0.00	23.15	0.00	0.00	0.00
11:30	0.00	0.00	0.00	23.30	0.00	0.00	0.00
11:45	0.00	0.00	0.00	23.45	0.00	0.00	0.00
12:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

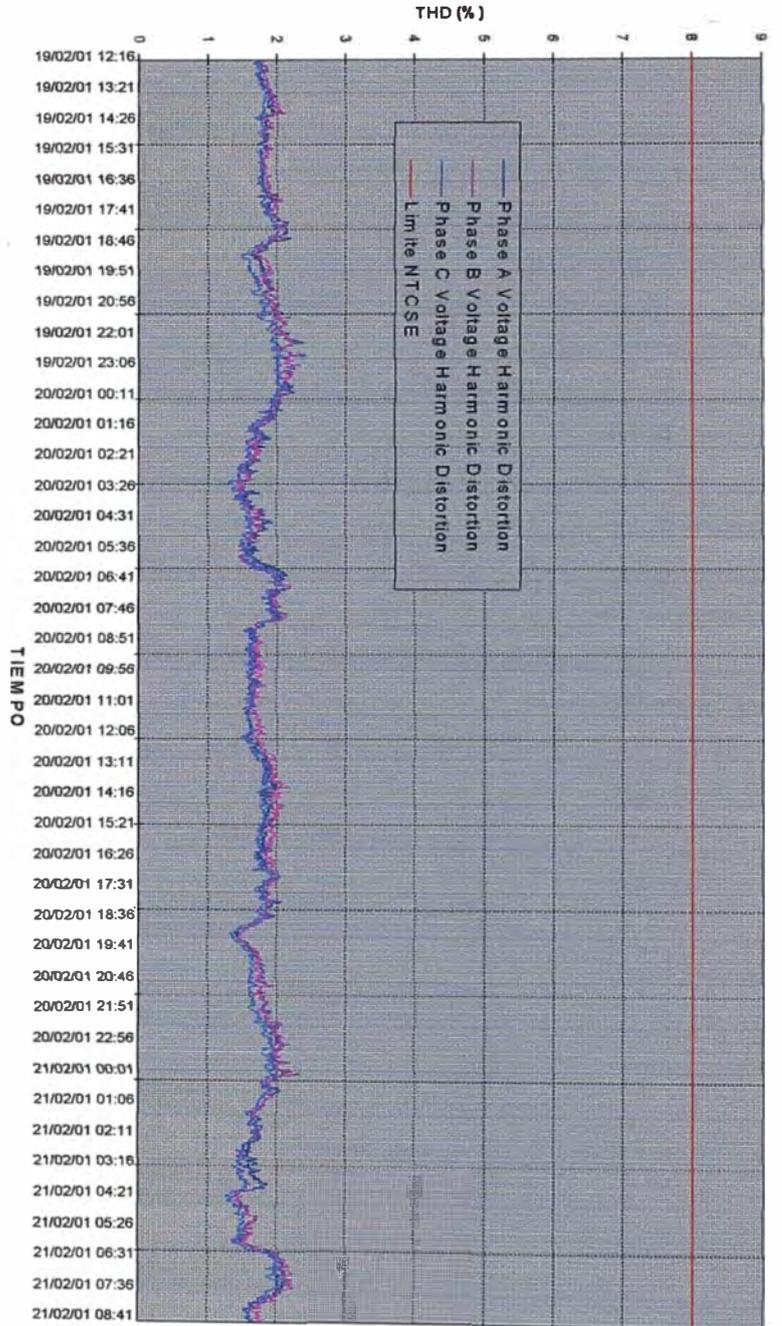
PARAMETROS ELECTRICOS REGISTRADOS Y CALCULADOS

PARAMETROS REGISTRADOS		PARAMETROS CALCULADOS	
MAXIMA DEMANDA	371.8	DEMANDA PROMEDIO	164.2
ENERGIA ACTIVA	0	ENERGIA REACTIVA	0
SW%h	0	KVArh	0
FACTORES DE POTENCIA (promedio del período)		ADVDZ1	ADVDZ2

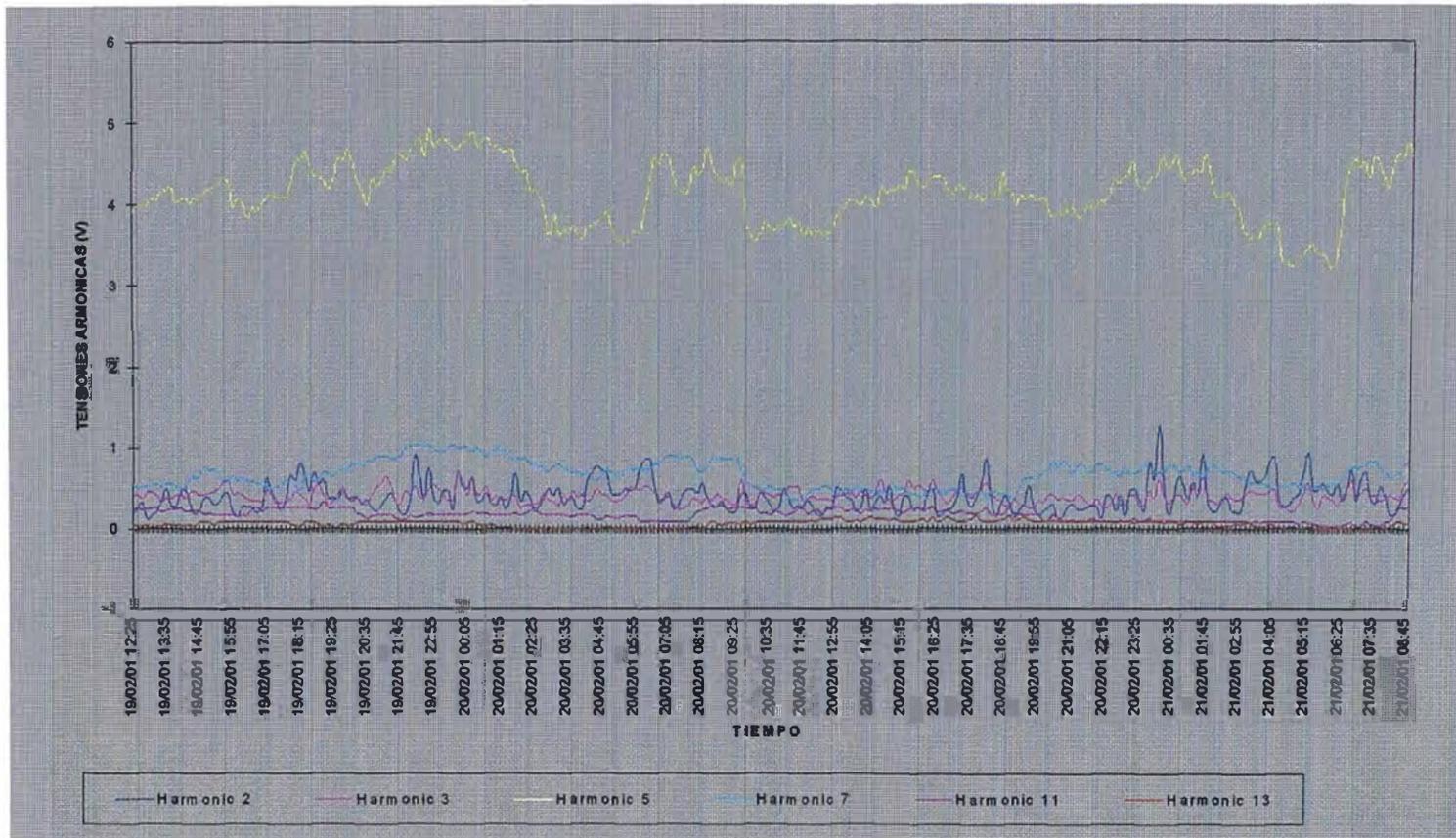
ANEXO C



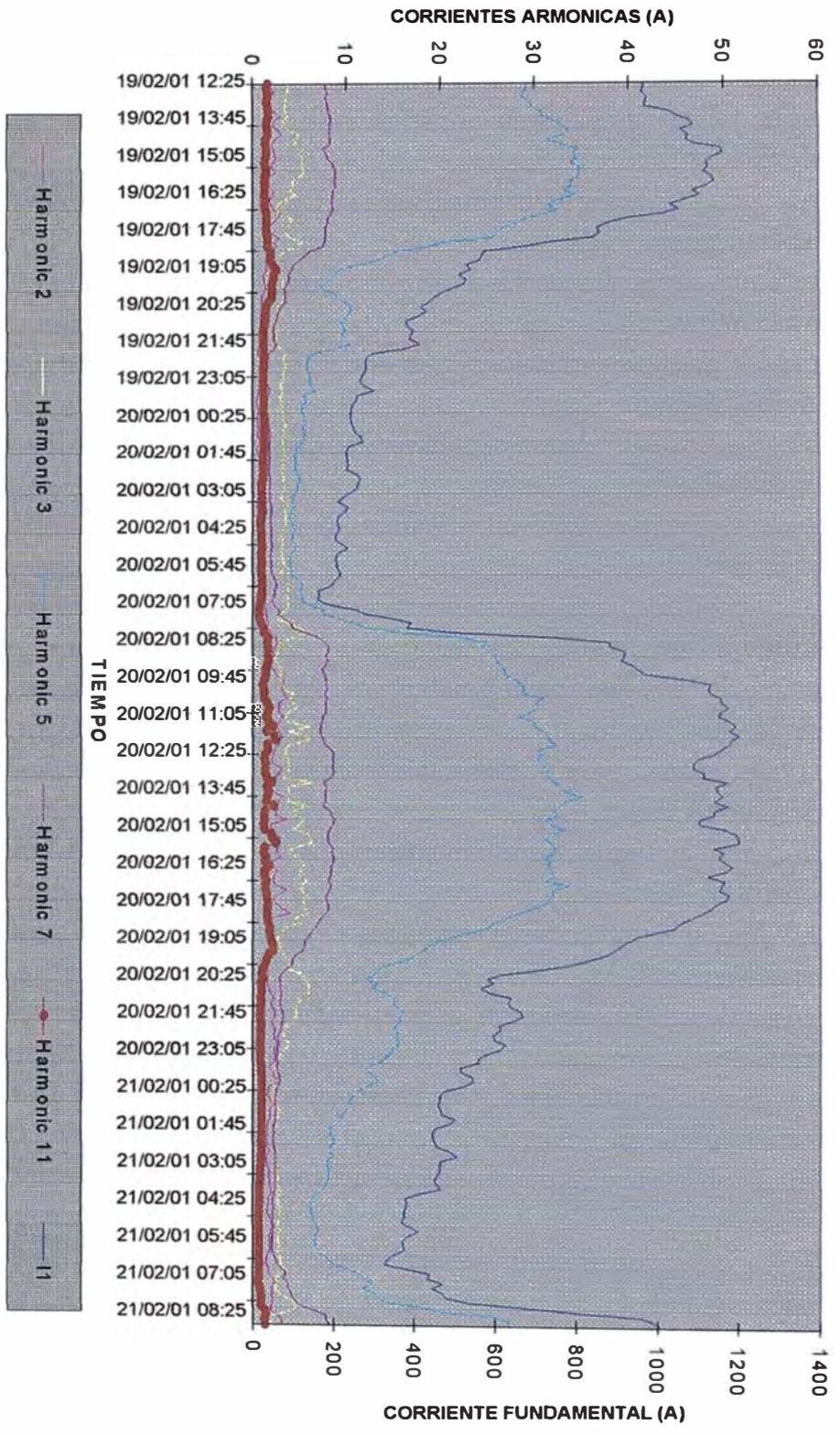
VALOR	TENSION (V)		
	FASE R	FASE S	FASE T
MÁXIMO	229.15	229.82	230.09
PROMEDIO	223.36	224.79	224.46
MÍNIMO	215.61	217.59	216.57



VALOR	THDr	THDs	THDi
Máximo	2.26	2.23	2.08
Promedio	1.82	1.83	1.73
Mínimo	1.44	1.44	1.33



ARMÓNICA	2	3	5	7	11	13
MÁXIMO (V)	1.268	0.672	4.928	1.048	0.332	0.162



ARMÓNICA	2	3	5	7	11
MÁXIMO (A)	4.0	6.3	35.0	8.8	2.5

ANEXO D

Información del Sistema Eléctrico		Modelo de Transformador CIGRE	
Armonico	5	Frecuencia del Sistema	60 Hz
Potencia de CC en Media Tension	260 MVA	Impedancia de CC del Sistema MV	0.00021
Relacion R/X de la Impedancia de CC	15 %	Datos del Condensador	
Capacidad Nominal del Condensador	240 kVar	Capacidad del Condensador:	230 Volts
Nominal Bus Voltage:	230 Volts	Capacidad de la Planta:	60 Hz
Corriente Nominal del Condensador:	602.5 Amps	Capacidad del condensador (wye):	240 kVAR
Impedancia del Condensador (wye):	0.2204	Compensacion suministrada:	500 kVA
Corriente en el condensador:	602.5 Amps	Tension armonica externa	0 % Fund
Capacidad del transformador:	500 kVA	Corriente armonica de la carga:	35.0 Amps
Tension de CC del transformador	4.4 %	Total de Corriente Armonica	31.6 Amps
Corriente armonica de la carga:	2.79 % Fund	Tension Fundamental:	230.0 Volts
Corriente armonica del sistema MV:	0.0000 Amps	Maximo Pico de Tension:	336.7 Volts
Calculos en el condensador:		Maximo Pico de Corriente:	553.2 Amps
Corriente RMS:	608.3 Amps	LIMITES: (IEEE Std 18-1992)	
Tension armonica:	2.4 Volts	Limit	Actual
Tension RMS :	230.0 Volts	120%	109%
		160%	100%
Tension Pico:			135%
Corriente:			110%

MODELO DE TRANSFORMADOR CIGRE	
Tan(φ)	1.1287
Xl	0.0047
Xh	0.0233
Fp	0.0525
Rs	0.0041
Reqwh	0.012744279
Xeqwh	0.01945742
Zeqwh	0.023259575
SISTEMA	
Zcc	0.000212 Xcc
Zsch	0.001058 Rcc
XshF	0.001046 Rsh
SISTEMA - TRAF0	
Reqwh	0.012814466
Xeqwh	0.020503715
Zeqwh	0.02418769
CONDENSADOR	
Xc	-0.220416667
Xch	-0.044083333
SISTEMA - TRAF0 - CONDENSADOR	
Reqwh	0.03457283
Xeqwh	0.019541566
Zeqwh	0.039717287

SISTEMA - TRAF0	
Reqwh	0.012814466
Xeqwh	0.020503715
Zeqwh	0.02418769
CONDENSADOR	
Xc	-0.220416667
Xch	-0.044083333
SISTEMA - TRAF0 - CONDENSADOR	
Reqwh	0.03457283
Xeqwh	0.019541566
Zeqwh	0.039717287

CONDENSADOR	
Xc	-0.220416667
Xch	-0.044083333
SISTEMA - TRAF0 - CONDENSADOR	
Reqwh	0.03457283
Xeqwh	0.019541566
Zeqwh	0.039717287

SISTEMA - TRAF0 - CONDENSADOR	
Reqwh	0.03457283
Xeqwh	0.019541566
Zeqwh	0.039717287

LIMITES: (IEEE Std 18-1992)	
Limit	Actual
120%	109%
160%	100%

Tension Pico:	
Limit	Actual
135%	100%

Corriente:	
Limit	Actual
110%	100%

Tension RMS :	
Limit	Actual
120%	109%
160%	100%

Tension Pico:	
Limit	Actual
135%	100%

Corriente:	
Limit	Actual
110%	100%

Tension RMS :	
Limit	Actual
120%	109%
160%	100%

Tension Pico:	
Limit	Actual
135%	100%

Corriente:	
Limit	Actual
110%	100%

Información del Sistema Eléctrico				MODELO DE TRANSFORMADOR CIGRE			
Armonico	7	Frecuencia del Sistema	60 Hz	Tan(ρ)	1.1287	X1	0.0047
Potencia de CC en Media Tension	250 MVA	Impedancia de CC del Sistema MV	0.00021	Xh	0.0326	Rp	0.0525
Relacion R/X de la Impedancia de CC	15 %	Datos del Condensador	230 Volts	Rs	0.0041	Requivh	0.018720448
Capacidad Nominal del Condensador	240 kVAr		60 Hz	Xequivh	0.023533929	Zequivh	0.030071598
Nominal Bus Voltage:	230 Volts	Capacidad del Condensador:	240 kVAr				
Corriente Nominal del Condensador:	602.6 Amps	Carga de la Planta:	500 kVA				
Impedancia del Condensador (wye):	-0.2204	Capacitancia del condensador (wye):	13034.40 uF	SISTEMA			
Corriente en el condensador:	602.6 Amps	Compensacion suministrada:	240 kVAr	Zcc	0.000212	Xcc	0.000209259
				Zcch	0.0014812	Rcc	3.13888E-05
Capacidad del transformador:	500 kVA	Tension armonica externa	0 % Fund	Xsh=	0.001465	Rsh	8.30471E-05
Tencion de CC del transformador	4.4 %			SISTEMA - TRAF0			
Corriente armonica de la carga:	0.7 % Fund	Corriente armonica de la carga:	8.8 Amps	Requivh	0.018803495	Xequivh	0.024998742
Corriente armonica del sistema MV:	0.0 Amps	Total de Corriente Armonica	13.8 Amps	Zequivh	0.031281121		
Calculos en el condensador:				CONDENSADOR			
Corriente RMS :	602.6 Amps	Tension Fundamental:	230.0 Volts	Xc	-0.220416667	Xch	-0.031488095
Tension armonica:	8.8 Volts	Maximo Pico de Tension:	326.8 Volts	SISTEMA - TRAF0-CONDENSADOR			
Tension RMS :	230.0 Volts	Maximo Pico de Corriente:	852.2 Amps	Requivh	0.047117672	Xequivh	-0.015227116
LIMITES: (IEEE Std 18-1992)				Zequivh	0.049517069		
	Limite	Actual					
			Limite	Actual			
Tension Pico:	120%	100% kVAr:	135%	100%			
Corriente:	180%	100% Tension RMS :	110%	100%			

Información del Sistema Eléctrico				
Armonico		5.7		Frecuencia del Sistema 60 Hz
Potencia de CC en Media Tension		250 MVA		Impedancia de CC del Sistema MV 0.0002
Refelacion RX de la impedancia de CC		15%		
Capacidad Nominal del Condensador		240 kVA		Datos del Condensador 230 Volts 60 Hz
Nominal Bus Voltage:		230 Volts		Capacidad del Condensador: 240 kVA
Corriente Nominal del Condensador:		602.5 Amps		Carga de la Planta: 500 kVA
Impedancia del Condensador (wye):		-0.220		Capactancia del condensador (wye): 12034.40 uF
Corriente en el condensador:		602.6 Amps		Compensacion suministrada: 240 kVA
Capacidad del transformador:		500 kVA		Tension armonica externa 0.00 % Fund
Tencion de CC del transformador		4.4%		
Corriente armonica de la carga:		2.9 % Fund		Corriente armonica de la carga: 36.1 Amps
Corriente armonica del sistema MV:		0.0 Amps		Total de Corriente Armonica 34.4 Amps
Calculos en el condensador:				
Corriente RMS :		603.4 Amps		Tension Fundamental: 230.0 Volts
Tension armonica:		2.5 Volts		Maximo Pico de Tension: 232.5 Volts
Tension RMS :		230.0 Volts		Maximo Pico de Corriente: 653.4 Amps
LIMITES: (IEEE Std 18-1992)				
Tension Pico:		120%	101.1% KVAR:	Limit Actual 135% 100.2%
Corriente:		160%	100.2% Tension RMS :	110% 100.0%

ANEXO E

DATOS INGRESADOS AL SOFTWARE WINHARMO

WinHarmo - [Demo2.DAT]

Archivo Edición Vista Ventanas Ayuda

 * DATOS DEL SISTEMA *

 Titulo General
 Subtitulo general
 Frecuencia Nominal: 60.0 Hz

BARRA	Tension (KV)	Cargas (MW)	Cargas (MVAR)
BARRA_1	0.2		
BARRA_2	10.0		

TRANSFORMADOR

Barras Envio	Barras Recap.	Tension Nominal P (KV)	S (KV)	P.Nominal (MVA)	Vcc (%)	P.Cobre (%)	Tension Fija P (KV)	S (KV)	Tap (%)	Modelo
BARRA_2	BARRA_1	10.0	0.2	0.5	4.400	0.000	10.00	0.23	0.00	CIGRE

CAPACITORES/REACTORES/FILTROS

Barra	Q (MVAR)	R (Ohm)	Frec. Sine. (Hz)	Factor Calidad	Tipo
BARRA_1	0.2	0.000			

SISTEMA EQUIVALENTE

Barra	P.Cortoc. (MVA)	Fac.Resist. (MVA)	Modelo
BARRA_2	250.00	15.000	CIGRE

WinHarmo Barra_BARRA_1

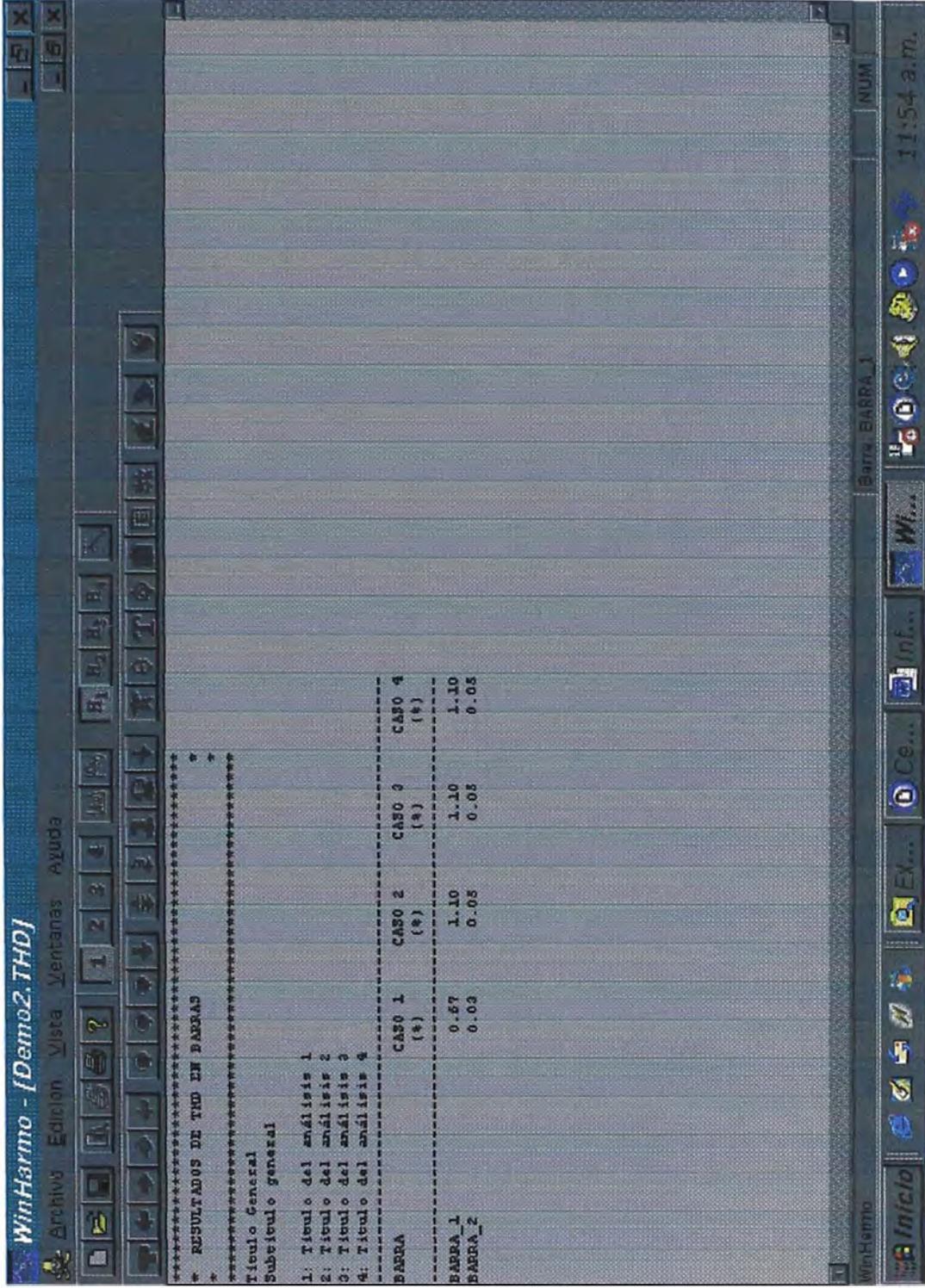
NUM 11:52 a.m.

DATOS INGRESADOS AL SOFTWARE WINHARMO

The screenshot shows the WinHarmo software interface. The title bar reads "WinHarmo - [Demo2.DAT]". The menu bar includes "Archivo", "Edicion", "Vista", "Ventanas", and "Ayuda". A toolbar with various icons is located below the menu bar. The main window displays a table of data under the heading "FUENTES DE CORRIENTE". The table has two columns: "BARRA_1 (Hz)" and "(Amp) (Grad)". The data shows a range of frequencies from 120.0 to 1740.0 Hz, with corresponding values of 0.0 for both amplitude and phase. The status bar at the bottom indicates "Analisis 1 de Almacenicos", "Ejerc: BARRA_1", and "NUM 11:53 a.m.".

BARRA_1 (Hz)	(Amp)	(Grad)
120.0	0.0	0.0
150.0	0.0	0.0
240.0	0.0	0.0
300.0	35.0	0.0
360.0	0.0	0.0
420.0	8.8	0.0
480.0	0.0	0.0
540.0	0.0	0.0
600.0	0.0	0.0
660.0	0.0	0.0
720.0	0.0	0.0
780.0	0.0	0.0
840.0	0.0	0.0
900.0	0.0	0.0
960.0	0.0	0.0
1020.0	0.0	0.0
1080.0	0.0	0.0
1140.0	0.0	0.0
1200.0	0.0	0.0
1260.0	0.0	0.0
1320.0	0.0	0.0
1380.0	0.0	0.0
1440.0	0.0	0.0
1500.0	0.0	0.0
1560.0	0.0	0.0
1620.0	0.0	0.0
1680.0	0.0	0.0
1740.0	0.0	0.0

ANÁLISIS DESARROLLADO PARA:
 CASO 1: SIN CONDENSADOR
 CASO 2: CON CONDENSADOR



ANÁLISIS DESARROLLADO PARA:

CASO 1: SIN CONDENSADOR

CASO 2: CON CONDENSADOR

WinHarmo - [Demo2.flw]

Archivo Edición Vista Ventanas Ayuda

Título General
Subtítulo general

* FLUJOS ENTRE BARRAS (AMPERIOS) *
* ENVIO RECEPCION *

Analisis : 1
Título del análisis 1

ARMONICO	5	7
BARRA_1		
Fuente	35.0	8.8
BARRA_2	35.0	8.8
Capacitancia	19.2	8.7
BARRA_2		
BARRA_1	0.8	0.2
Sist. equiv.	0.8	0.2

Analisis : 2
Título del análisis 2

ARMONICO	5	7
BARRA_1		
Fuente	35.0	8.8
BARRA_2	57.5	13.9
Capacitancia	31.6	13.8
BARRA_2		
BARRA_1	1.2	0.3
Sist. equiv.	1.2	0.3

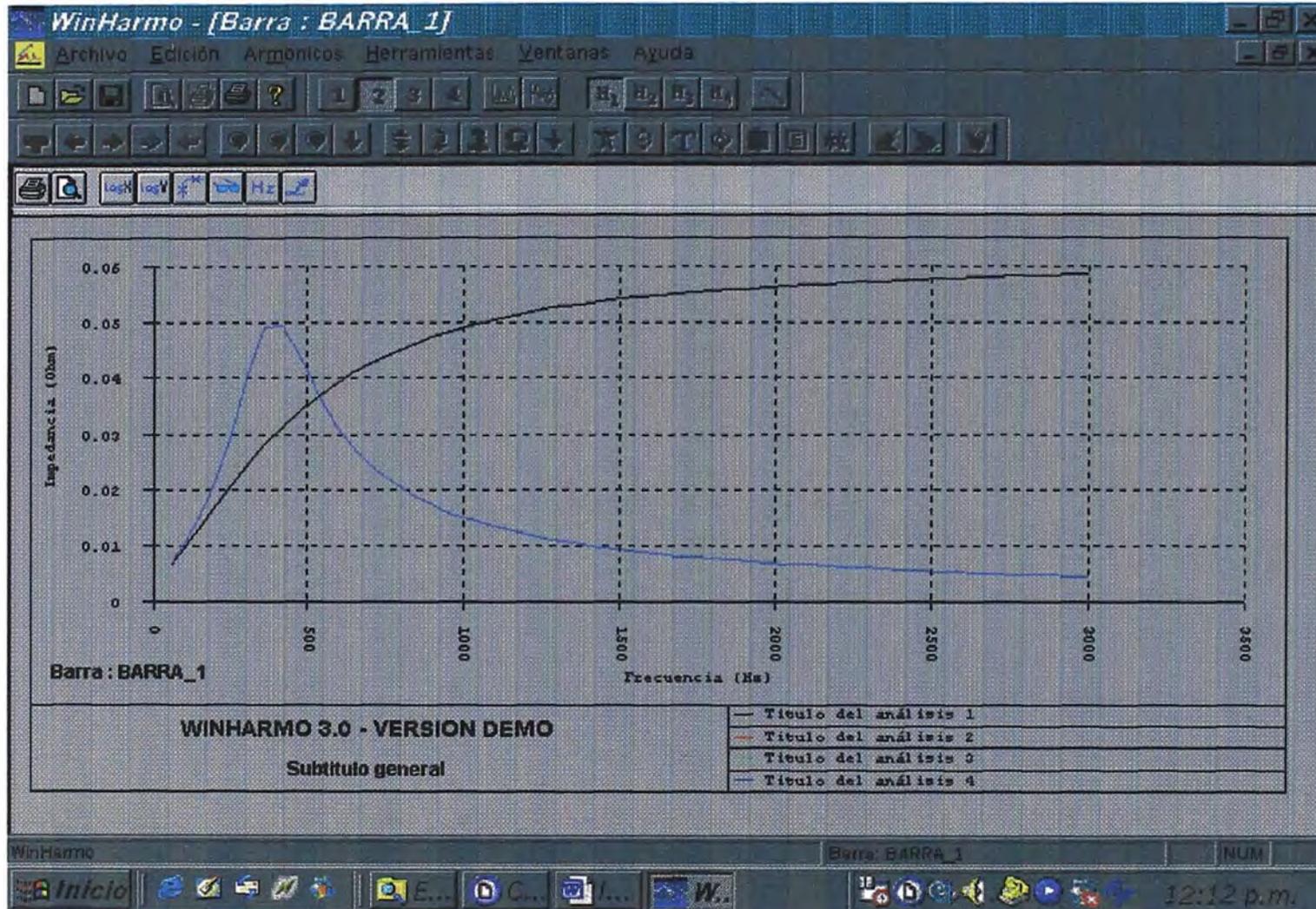
WinHarmo Barra BARRA_1 NUM

Inicio Ex... C6... Inf... Wi... 12:09 p.m.

CURVA DE IMPEDANCIA VS FRECUENCIA

CASO 1: SIN CONDENSADOR

CASO 2: CON CONDENSADOR



ANEXO F

Proforma No 1618

Señores:

Presente

Atención: **Ing. Wilder Aguilar**

Referencia: **BANCO DE CONDENSADORES 240 Kvar**

Estimados señores:

En atención a su amable solicitud, nos es grato cotizarles los artículos siguientes:

ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	P.U.\$	TOTAL \$
1	1	Banco de condensadores automático: 240kVar, 220V 60Hz. 6 pasos: 2x24kVar+4x48kVar Programa: 1:1:2:2:2:2 Compuesto por lo siguiente:	\$7,368.80	\$7,368.80
		1 Gabinete metálico autosoportado, fabricado en base a planchas de fierro LAF según lo siguiente: Estructura y puerta: Plancha de 2mm de espesor. Techo y paneles: Plancha de 1.5mm de espesor. Con tratamiento anticorrosivo por decapado químico. Acabado con pintura electrostática color RAL 7032 -Beigh Con cerradura tipo maneta multipunto. Grado de Protección: IP40 Dimensiones aproximadas: Altura: 2000mm Ancho: 1100mm Fondo: 500mm		
		1 Interruptor general regulable de 3x800A 65KA/240V, Disparo Electrónico tipo LS de 400...800 Amp. Modelo: NGS3800T33WP19 Marca: CUTLER-HAMMER		
		30 Portafusible unipolar 160A 500V NH-00		
		30 Fusibles de 100A 500V NH-00		
		10 Contactor electromagnético de 35 kVar 230V, Modelo: CSC55A312M (para condensadores), Marca: GE POWER CONTROL.		

ITEM	CANT.	DESCRIPCIÓN	P.U.\$	TOTAL \$
20		Condensador de potencia trifásico 12kvar 230V 60Hz Modelo: CLZ-FP-23/10 Marca: CIRCUTOR.		
1		Regulador automático de energía reactiva, 6 pasos, digital, programable, montaje panel 144x144mm Modelo: MAGIC Computer 6m Marca: CIRCUTOR.		
1		Transformador de control 230 / 400 Vac. 20 V		
1		Termostato Ambiental 5-55°C		
1		Ventilador de 6" X 6" mas rejilla de protección metálica		
2		Rejilla de ventilación con filtro de 6" X 6"		
4		Portafusible cilindrico 10x38mm 25A 500V		
2		Fusible 4A, 10x38mm, circuito de control.		
2		Fusible 2A, 10x38mm, circuito de regulador.		
1		Juego de barras de conexión 1000A.		
1		Juego de barra de tierra 500A		
1		Juego de cables de fuerza de conexión, cables de control, aisladores, borneras y accesorios.		

TOTAL VENTA: \$7,368.80

IGV 19% : \$1,400.07

TOTAL: \$8,768.87

CONDICIONES COMERCIALES:

Forma de pago : 50% con la orden de compra, saldo contra
entrega.

Plazo de entrega : 4 semanas

Garantía : 1 año.

Validez de oferta : 15 dias

.....
P. GESCEL S.A.C.

.....
Vº Bº

Ing. Jorge Figueroa V.

Telefax: 431 3894 - 431 3892

Nextel : 837*8239

ANEXO G

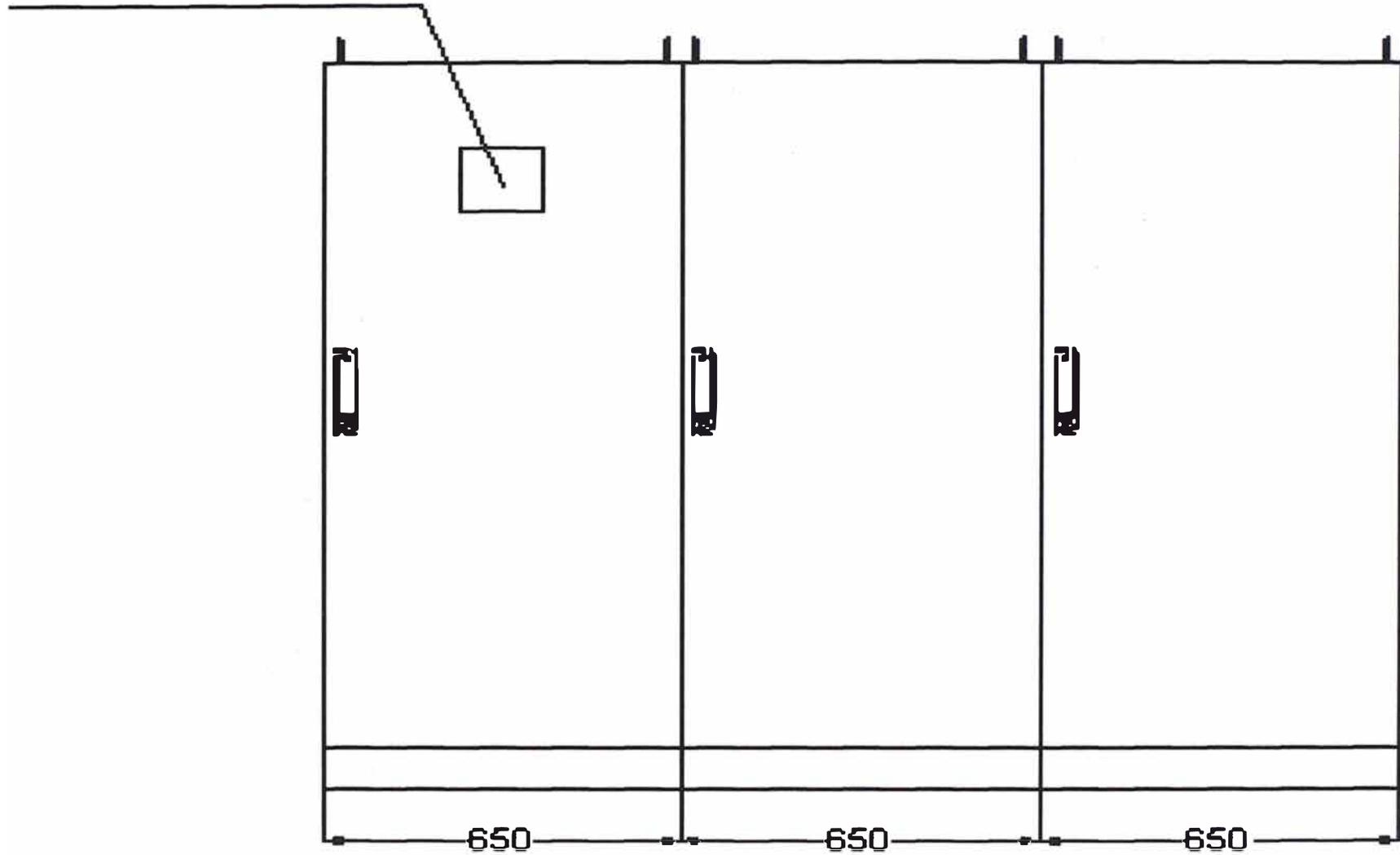
Tarifa	Descripción	Unidad	Cargo (Sin IGV)
	MEDIA TENSIÓN		
TARIFA MT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	6.48
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	16.88
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	12.39
	Cargo por Potencia Contratada o Máxima Demanda en HP	S/./kW-mes	39.03
	Cargo por Exceso de Potencia Contratada o Máxima Demanda en HFP	S/./kW-mes	8.46
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVarh	4.2
TARIFA MT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	4.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	16.88
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	12.39
	Cargo por Potencia Contratada o Máxima Demanda para Clientes:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	35.06
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	24.41
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVarh	4.2
TARIFA MT4:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	4.12
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	13.47
	Cargo por Potencia Contratada o Máxima Demanda para Clientes:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	35.06
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	24.41
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVarh	4.2
	BAJA TENSIÓN		
TARIFA BT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	6.48
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	18.7
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	13.74
	Cargo por Potencia Contratada o Máxima Demanda en HP	S/./kW-mes	71.59
	Cargo por Exceso de Potencia Contratada o Máxima Demanda en HFP	S/./kW-mes	25.88
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVarh	4.2
TARIFA BT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	4.12

Tarifa	Descripción	Unidad	Cargo (Sin IGV)
TARIFA BT4:	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	18.7
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	13.74
	Cargo por Potencia Contratada o Máxima Demanda para Clientes:		
	Presentes en Punta	S/./kW-mes	61.34
	Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	48.2
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVarh	4.2
	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	4.12
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	14.93
	Cargo por Potencia Contratada o Máxima Demanda para Clientes:		
Presentes en Punta	S/./kW-mes	61.34	
Presentes Fuera de Punta	S/./kW-mes	48.2	
Alumbrado Público	S/./kW-mes	80.45	
Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S/./kVarh	4.2	
TARIFA BT5A:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 2E		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	4.12
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S/./kW.h	85.74
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S/./kW.h	13.74
	Cargo por Exceso de Potencia en Horas Fuera de Punta	S/./kW-mes	30.37
TARIFA BT5B:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E		
No Residencial	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	2.07
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	34.79
TARIFA BT5B Residencial	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E		
	a) Para clientes con consumos menores o iguales a 100 kW.h por mes		
	0 - 30 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	2.02
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	25.43
	31 - 100 kW.h		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	2.02
	Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h	S/./cliente	7.63
	Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h	ctm. S/./kW.h	33.91
	b) Para clientes con consumos mayores a 100 kW.h por mes		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	2.07
	Cargo por Energía Activa	ctm. S/./kW.h	34.79
TARIFA BT6:	TARIFA A PENSIÓN FIJA DE POTENCIA 1P		
	Cargo Fijo Mensual	S/./cliente	2.07
	Cargo por Potencia	ctm. S/./W	14.1

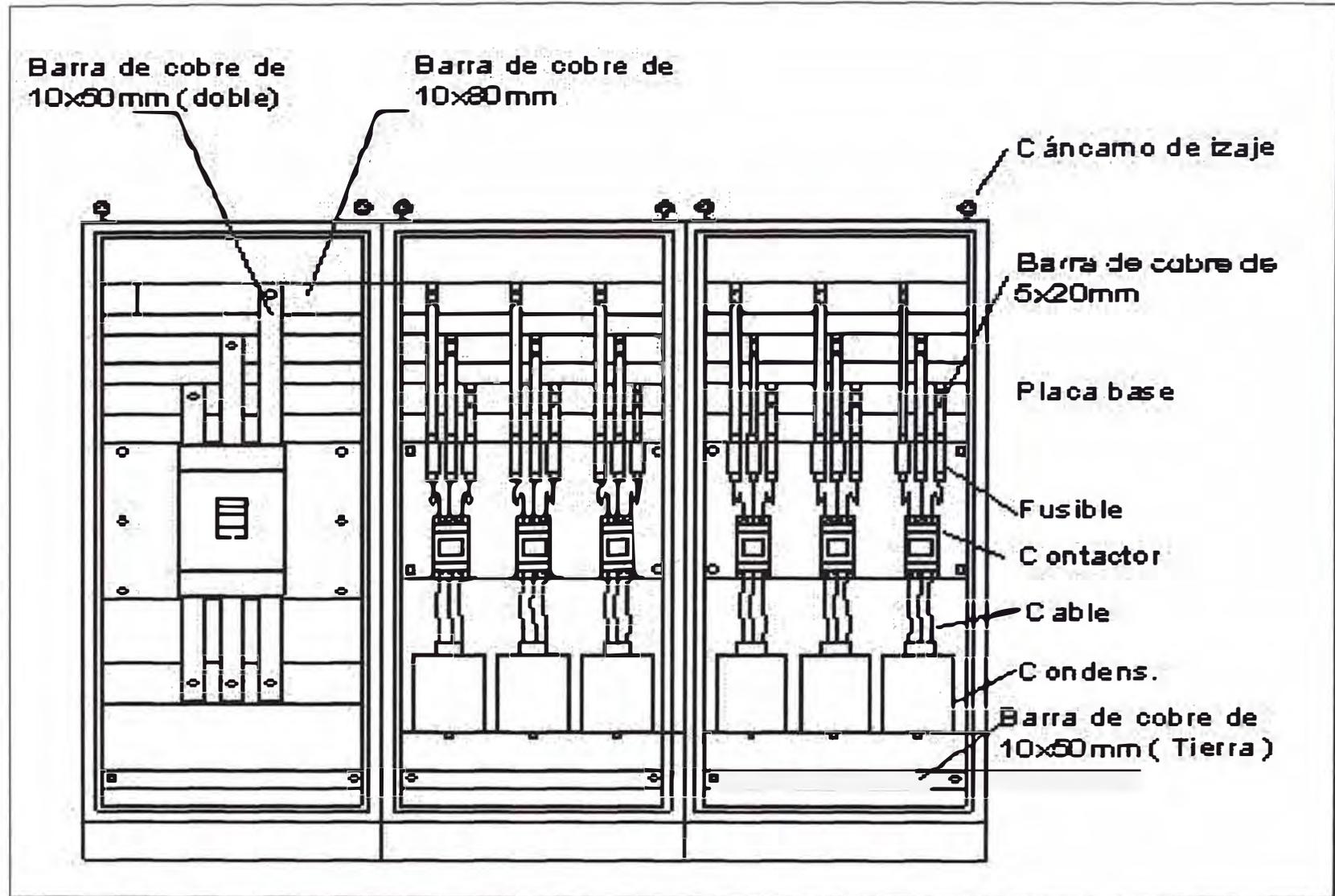
ANEXO H

BANCO DE CONDENSADORES A INSTALAR EN PLANTA INDUSTRIAL

Regulador de Energía



BANCO DE CONDENSADORES A INSTALAR EN PLANTA INDUSTRIAL



BIBLIOGRAFÍA

1. Philippe Ferracci, "Power Quality", Schneider Electric, 2001
2. A. Robert - T. Deflandre, "Guide for Assessing The Network Harmonic Impedance", Electra N°167, 1996
3. IEEE, "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", IEEE 519 -1992, 1992.
4. IEEE, "Standard for Shunt Power Capacitors", IEEE18 -1992, 1992.