

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



**REDUCCIÓN DEL NIVEL DE ARMÓNICOS Y COMPENSACION
REACTIVA EN FABRICAS DE PAPEL**

INFORME DE INGENIERIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Presentado por:

EDSON ROBERT TRINIDAD POMA

PROMOCION 1991-1

LIMA - PERU

1999

*A mis padres,
por enseñarme a aceptar grandes retos y ser perseverante.*

*A Rocío y Zarelita,
inspiración y sentido de mis esfuerzos.*

**REDUCCIÓN DEL NIVEL DE ARMÓNICOS Y COMPENSACIÓN
REACTIVA EN FÁBRICAS DE PAPEL**

SUMARIO

El considerable costo de la energía reactiva y el interés de eliminarlo, obligó la inclusión de un sistema de compensación reactiva en una fábrica de papel, originándose con ello, una indeseable situación de resonancia en el sistema. En esta condición se incrementaron las corrientes y tensiones del sistema, lo cual produjo en unos días la destrucción parcial del sistema de compensación reactiva instalado, el sobrecalentamiento de transformadores de potencia de la subestación, así como la de otros equipos de la planta.

La solución adoptada para resolver el problema, fue planteada a partir de un estudio de armónicos que incluyó labores de medición de tensiones y corrientes armónicas en los alimentadores y la identificación de las cargas generadoras de armónicos, para posteriormente con labores de simulación, identificar las frecuencias de resonancia y proceder al diseño de los filtros.

Aún cuando el estudio cubrió la solución del problema integral, no se instalaron todos los filtros sino solo un filtro de 1000 kVAR, debido a una futura ampliación de la planta con la inclusión de nuevas máquinas y un incremento no definido de la demanda. De esta forma la empresa decidió implementar solo la primera etapa del proyecto, dejando el saldo para el segundo semestre de 1999, después de una comprobación de los nuevos parámetros de diseño.

Con la instalación de un filtro de 1000 kVAR se comprobó la disminución del consumo de energía reactiva, así como la reducción del nivel de armónicos.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
CONSIDERACIONES CONCEPTUALES	6
1.1 Comportamiento del sistema eléctrico	6
1.2 Respuesta de Frecuencia del sistema	9
1.3 Generación e inserción de armónicos al sistema	10
1.4 Nivel de Distorsión armónica técnica y económicamente aceptable	13
1.5 Filtros de Armónicos	16
1.5.1 Composición de los filtros	16
1.5.2 Potencia del filtro	17
1.5.3 Dimensionamiento del filtro	17
1.5.4 Determinación del número de filtros	19
1.5.5 Respuesta de un filtro en el sistema	20
1.5.6 Verificación de los niveles de distorsión resultantes	21
CAPÍTULO II	
SITUACIÓN INICIAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO	23
2.1 Antecedentes y diagnóstico	23
2.2 Mediciones realizadas	26

	VI	
2.3	Determinación de las fuentes generadoras de armónicos	28
2.4	Caracterización de las fuentes generadoras de armónicos	28
CAPÍTULO III		
PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA		30
3.1	Demanda del sistema	30
3.2	Potencia de corto circuito	30
3.3	Orden del filtro y potencia reactiva a compensar	30
3.4	Determinación del número de filtros	31
3.5	Determinación del número de pasos de los filtros	32
CAPÍTULO IV		
ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y SIMULACIÓN DE ARMÓNICOS		34
4.1	Situación inicial	35
4.2	Situación con capacitores	35
4.3	Situación con instalación de filtros en baja tensión con Pcc de 53MVA	36
4.4	Situación con instalación de filtros y condensadores en baja tensión con Pcc 198MVA	37
4.5	Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 53 MVA	38
4.6	Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 198 MVA	39
CAPÍTULO V		
RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN		40

	VII
5.1 Situación inicial	40
5.2 Situación con capacitores	41
5.3 Situación con instalación de filtros en baja tensión con Pcc de 53MVA	42
5.4 Situación con instalación de filtros y condensadores en baja tensión con Pcc 198MVA	43
5.5 Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 53 MVA	44
5.6 Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 198 MVA	45
CAPÍTULO VI	
CÁLCULO DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO	
PRINCIPAL DE LOS FILTROS	47
6.1 Corriente nominal de diseño de cada paso de los filtros	47
6.2 Tensión nominal de diseño	50
6.3 Parámetros de los Condensadores	50
6.3.1 Tensión efectiva	50
6.3.2 Capacitancia	50
6.4 Parámetros de los Reactores	51
6.4.1 Tensión efectiva	51
6.4.2 Inductancia de los reactores	51
6.5 Parámetros del seccionador	51
6.5.1 Corriente nominal del seccionador	51

	VIII	
6.6	Parámetros de los fusibles	52
6.6.1	Corriente nominal de los fusibles	52
6.7	Parámetros de los contactores	52
6.7.1	Corriente nominal de los contactores	52
6.8	Parámetros de los conductores	52
6.8.1	Corriente nominal de los conductores	52
6.9	Corriente total del filtro	52
6.10	Capacitancia total del filtro	53
6.11	Inductancia total del filtro	53

CAPÍTULO VII

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO PRINCIPAL

DE LOS FILTROS	55	
7.1	Especificaciones generales de los filtros	55
7.2	De los Condensadores	56
7.3	De los Reactores	57
7.4	Del Seccionador	59
7.5	De los Fusibles	59
7.6	De los Contactores	60
7.7	De los Conductores	60
7.8	De los Ventiladores	61
7.9	Del Gabinete	62
7.10	Del Regulador de Factor de Potencia	62

CAPÍTULO VIII

	LX
METRADO DE LOS FILTROS	65
8.1 Leyenda del Metrado	65
8.2 Listado completo de equipos y accesorios de cada uno de los filtros de armónicos	65
CAPÍTULO IX	
ANÁLISIS ECONÓMICO	70
9.1 Costo de la energía reactiva	70
9.2 Facturación por consumo de energía reactiva	71
9.3 Costo del estudio y equipamiento del sistema de compensación reactiva	71
9.4 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y del Valor Actual Neto (VAN)	71
CAPÍTULO X	
MEDICIÓN DE ARMÓNICOS DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO	75
10.1 Resumen de resultados	75
CONCLUSIONES	76
ANEXO A:	
PLANOS Y DIAGRAMAS	78
ANEXO B:	
PROTOCOLOS DE PRUEBA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES	87
ANEXO C:	
RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE ARMÓNICOS	101

ANEXO D:

RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DEL FLUJO DE ARMÓNICOS	113
D1 Situación inicial	118
D2 Situación con capacitores	120
D3 Situación con instalación de filtros en baja tensión con Pcc de 53MVA	122
D4 Situación con instalación de filtros y condensadores en baja tensión con Pcc 198MVA	124
D5 Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 53 MVA	126
D6 Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 198 MVA	128
BIBLIOGRAFÍA	130

PRÓLOGO

La industria papelera para su operación requiere, entre otros equipos, del empleo intensivo de equipos eléctricos generadores de armónicos, tales como arrancadores electrónicos, variadores de velocidad, y otros, esto es las llamadas cargas eléctricas no lineales, por lo que la inclusión adicional de bancos de condensadores en su sistema eléctrico puede originar efectos de resonancia con el consiguiente daño a los equipos eléctricos de la planta. Esto significa que la intención de compensar la energía reactiva del sistema, para eliminar el pago de la factura por consumo de energía reactiva, obliga el estudio del nivel de armónicos que permita eliminar el riesgo de resonancia en el sistema.

Lamentablemente, los armónicos no solo afectan al usuario que las genera, sino que pueden afectar también a otros usuarios alimentados de la misma red, puesto que el sistema eléctrico de media tensión sufre distorsiones debidas a los armónicos. Queda establecido, por tanto, que un sistema eléctrico particular con armónicos perjudica la calidad del servicio eléctrico de la red en su conjunto y pone en riesgo la buena operación del sistema.

Hace algunos años la compensación reactiva en el sector industrial era una labor sencilla y poco complicada, salvo raras excepciones, debido a que el empleo de equipos con cargas no lineales no era frecuente y por que el grado

de control y automatización de los procesos era incipiente. Hoy en día, los retos que la competencia del mercado impone, las exigencias de calidad del producto y la necesidad de mejorar los niveles de producción, hacen obligatoria la inclusión de equipos con carga no lineal en los sistemas eléctricos industriales.

Así, no es posible descartar el empleo de equipos con característica no lineal en la actividad industrial, toda vez que su inclusión obedece a programas de control, automatización, ahorro de energía, eficiencia y productividad, signos de tecnología y desarrollo del sector. De esta forma, lo correcto es adoptarlos como elementos importantes para la operación del sistema y analizar su comportamiento en conjunto con el resto de los equipos del sistema y tomar las medidas de precaución para evitar un indeseable efecto de resonancia, y a su vez, disminuir el nivel de armónicos para preservar la calidad de energía eléctrica. Solo de esta forma se pueden evitar los problemas generados por los armónicos en cada instalación en particular, y limitar la posibilidad de una gran polución armónica en el sistema eléctrico.

Dado que es muy importante mantener la calidad de la energía eléctrica para evitar problemas técnicos en la red, existe legislación pertinente para penalizar a los responsables de la distorsión de las ondas de tensión y corriente. Esta medida es justa y también es necesaria por el bien y por la seguridad de todos los usuarios del sistema, grandes y pequeños, por lo cual el tema del presente trabajo despierta la atención de personas e instituciones ligadas al sector eléctrico.

En este trabajo se resume el procedimiento efectuado para compensar la

energía reactiva en una fábrica de papel donde el nivel de armónicos hace incompatible la adecuada operación de bancos de condensadores con la operación del sistema.

Sin embargo, el presente trabajo no pretende constituirse en un manual de cálculo y de diseño de filtros de armónicos, si no que se proyecta a mostrar de manera práctica un caso complejo de compensación reactiva con un resultado finalmente satisfactorio.

Como una forma de facilitar la comprensión de los procedimientos adoptados así como de la teoría aplicada en el caso real, en el primer capítulo se intenta abarcar con suficiente claridad un resumen de la teoría de operación de sistemas eléctricos industriales con presencia de cargas no lineales. Este capítulo incluye, además, la presentación de fórmulas aplicables en la determinación de los efectos de los armónicos, en el dimensionamiento de los filtros de armónicos así como el efecto de estos con el sistema eléctrico. En el segundo capítulo se hace una descripción de las condiciones iniciales del sistema eléctrico, mostrando los lamentables resultados de un primer intento de compensación reactiva con condensadores, así como de las labores de medición de armónicos, determinación de las cargas generadoras de armónicos, y concluyendo con la caracterización de la carga armónica. El tercer capítulo incluye los procedimientos para la determinación de los parámetros eléctricos del sistema toda vez que son estos los que van a permitir el dimensionamiento del filtro en cuanto a potencia reactiva, el número de pasos del filtro y la cantidad de ellos a instalarse en el sistema. En el cuarto capítulo mediante el uso de

herramientas computacionales se efectúan cálculos de simulación del comportamiento del sistema para cada una de las condiciones aceptables como alternativas de solución, es decir, se toman en cuenta dos escenarios con algunas situaciones como posibles soluciones: Compensar en baja tensión o compensar en media tensión, esto permite definir la frecuencia de resonancia del sistema, con lo cual se procederá a diseñar el filtro de armónicos. Cabe destacar que como no se disponía del software HARMOD, que fue utilizado para la simulación, se recurrió al fabricante de los filtros para efectuar la simulación de las alternativas planteadas. El quinto capítulo presenta un resumen de los resultados obtenidos con la simulación del sistema. En el sexto capítulo se procedió a determinar los parámetros de diseño de los equipos principales que componen el filtro, de forma que con sus resultados permitan elaborar las especificaciones técnicas y de construcción como se indica en el capítulo VII. En el capítulo VIII se muestra la lista de los equipos que componen cada uno de los filtros. La evaluación económica del proyecto de compensación reactiva es resumida en el noveno capítulo. En el décimo capítulo se muestran los resultados de medición de armónicos después de la instalación del filtro de armónicos, es decir, a manera de comprobación del efecto que el filtro ocasiona en el sistema. El anexo A incluye los diagramas unifilares del filtro de armónicos, los planos de distribución de los equipos, así como los planos dimensionales de los gabinetes que los albergan. En el anexo B se incluyen los resultados ó protocolos de prueba efectuados en fábrica de los equipos principales, es decir, de los condensadores y de los reactores. Las hojas de mediciones del nivel de

armónicos del sistema aparecen mostradas en el Anexo C. Los resultados de las simulaciones alcanzados por el fabricante aparecen en el Anexo D. Finalmente, en Bibliografía aparecen indicadas las referencias de libros recomendables para el tema.

CAPÍTULO I

CONSIDERACIONES CONCEPTUALES

1.1 Comportamiento del sistema eléctrico

La generación de energía eléctrica se caracteriza por entregar al sistema eléctrico, el cual está compuesto por generadores, transmisores, distribuidores y usuarios finales, una onda de tensión sinusoidal con una frecuencia única de 60 Hz. Cuanto más se asemeja dicha onda de tensión a una curva sinusoidal, se tiene una onda de mejor calidad. Obtener calidad en el servicio de energía eléctrica es el objetivo de generar una onda de tensión sinusoidal en el sistema eléctrico, y constituye hoy en día, una actividad primordial para las empresas de servicio público de electricidad de prácticamente todos los países que aspiran el desarrollo.

Todos los sistemas eléctricos se componen de circuitos que alimentan cargas resistivas, capacitivas e inductivas, por lo cual, un sistema eléctrico en particular se comporta básicamente como un circuito RLC. Como tal, cada sistema eléctrico tiene su propia característica de respuesta de frecuencia la cual presenta, por tanto, puntos de resonancia, es decir, frecuencias para las que la impedancia del sistema visto desde uno o varios puntos de alimentación se maximiza o se minimiza. En caso de obtenerse impedancias máximas se

presenta el fenómeno de resonancia paralela y en caso de impedancias mínimas el fenómeno resultante es una resonancia serie.

Si en el sistema eléctrico existe una carga no lineal, entonces también existen corrientes armónicas de frecuencias superiores a la fundamental, que es de 60 Hz. Tales corrientes armónicas son también ondas sinusoidales, pero con frecuencias múltiples de la fundamental, que afectan negativamente a los equipos como es el caso de los armónicos de secuencia negativa que tienen gran impacto en los transformadores y motores por que su rotación se opone a la rotación de la fundamental.

Las corrientes armónicas pueden ocasionar considerables tensiones armónicas que sumadas a la tensión del armónico fundamental del sistema, pueden distorsionar gravemente a la tensión del sistema, es decir, no se tendrán una onda de tensión sinusoidal pura sino una composición de ondas de diferentes frecuencias.

Los armónicos fueron reconocidos en la industria hace aproximadamente 40 años, sin embargo, el peligro de su existencia no fue tomado en cuenta y tratada con especial interés sino hasta hace algunos años. Inicialmente, los hornos de arco y después las lámparas fluorescentes fueron los principales generadores de armónicos, pero sus efectos no fueron muy dañinos. Los hornos de arco, que no eran muy numerosos, podían ser alimentados desde fuentes independientes y el efecto de los fluorescentes por ser pequeños se atenúan por las cargas no lineales. La aparición de los rectificadores de estado sólido y su posterior utilización para prácticamente todos los equipos electrónicos de la

industria, incluso de los equipos de oficina y artefactos de uso doméstico han cambiado notablemente el comportamiento del sistema eléctrico.

El crecimiento de la contaminación armónica tiene características de una progresión geométrica que preocupa, pues es prácticamente imposible hablar de un equipo electrónico moderno que no posea una fuente de alimentación que transforme la señal alterna en continua. De estos equipos, los usados en el sector industrial no pueden ser evitados por que responden a requerimientos de ahorro de energía, calidad de control, eficiencia y productividad; por su parte, los usados en las oficinas como impresoras láser, Pcs, máquinas de fax y otros no podrán ser reemplazados sin que se pierdan valiosas herramientas de trabajo, de igual manera los artefactos de uso doméstico como hornos de micro ondas, televisores, equipos de sonido, lámparas electrónicas, Pcs, VHS, dimmers no serán dejados de lado por las enormes facilidades, comodidad y confort que otorgan a sus usuarios. Así, se concluye que estos equipos no pueden ser reemplazados o dejados de lado y, por tanto, deben ser adoptados por el sistema y deben ser tratados cuidadosamente para evitar inconvenientes de operación y daños.

El contenido armónico de la señal de tensión puede afectar notablemente el comportamiento e incluso dañar a los equipos que esperan recibir una señal íntegramente sinusoidal. Entre los efectos resultantes de los armónicos en el sistema eléctrico se tienen:

- Frecuente fusión de fusibles
- Excesivo calentamiento y eventual explosión de condensadores

- Fallas de aislamiento en los equipos y conductores.
- Funcionamiento inadecuado y destrucción de transformadores de medición.
- Disparo frecuente de interruptores
- Operación incorrecta del sistema de protección.
- Operación incorrecta de variadores de velocidad fabricados con elementos de estado sólido.
- Operación incorrecta de los equipos de telecomando, telecomunicación y telefonía.
- Calentamiento, pérdidas excesivas y daño en transformadores, generadores y motores
- Interferencia en sistemas de comunicación.
- Sobrecarga del neutro de transformadores.
- Grandes campos magnéticos emanados desde los transformadores de potencia.
- Interferencia en equipos sensibles como computadores, controladores lógicos programables, sensores electrónicos, etc.

1.2 Respuesta de Frecuencia del sistema

Por lo expuesto anteriormente, el sistema presentará diferentes valores de impedancia equivalente ante distintas frecuencias de corriente y tensión. Esto es debido a que tanto la reactancia inductiva como la reactancia capacitiva son función de la frecuencia.

Las magnitudes de las impedancias vienen dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\omega = 6,28 \times f$$

$$X_c = 1 / (\omega C)$$

$$X_l = \omega L$$

Donde:

f : Frecuencia del sistema en Hz

X_c : Reactancia capacitiva en Ohmios

X_l : Reactancia inductiva en Ohmios

C : Capacidad en micro faradios

L : Autoinductancia en mili Henrios

ω : Pulsación ó velocidad angular en rad/seg

Por tanto, al analizar el problema de resonancia en un sistema, es importante tomar en cuenta la respuesta de frecuencia del sistema, lo que permitirá la identificación clara de las posibles condiciones de resonancia a lo largo del sistema. Siendo la impedancia del sistema, función de su configuración, es indispensable que se analice también el comportamiento de las barras del sistema en diversas situaciones posibles de operación, por ejemplo debe evaluarse la respuesta del sistema ante la conexión ó desconexión de cargas, reactores y/o bancos de condensadores.

1.3 Generación e inserción de armónicos al sistema

Teniendo establecidas las condiciones de posible resonancia del sistema, se procede a evaluar las cargas. Esta labor por lo general es motivada ante la necesidad de instalación en el sistema de alguna carga generadora de armónicos, tales como equipos de rectificación, variadores de velocidad, hornos

de arco, ó la instalación de sistemas de compensación reactiva. Así, se inicia la labor con la realización de un análisis del contenido armónico de la referida carga, lo cual significa un análisis de Fourier, sumándose luego dichos valores con las corrientes armónicas ya existentes en el sistema. En el caso de instalación de bancos de condensadores, se verifica el efecto de las corrientes armónicas existentes con la nueva impedancia equivalente del sistema.

Es importante tomar en cuenta que existen modelos de fuentes generadoras de armónicos para los diversos equipos generadores de armónicos, por ejemplo, los variadores de velocidad que son muy usados en la industria para el control de motores, son los principales generadores de armónicos que se presentan en toda planta industrial, y ya se los tiene modelados. Dichos modelos permiten simular las cargas y obtener resultados confiables.

Entre los modelos de cargas que se tienen, se encuentran los inversores de 6 y de 12 pulsos, los cuales presentan el contenido de armónicos que se muestran en las siguientes tablas I y II.

Tabla I**Espectro Armónico de un convertidor de 6 pulsos**

<i>Orden del Armónico</i>	<i>Magnitud de corriente</i>
1	100 %
5	20 %
7	14 %
11	9 %
13	8 %
17	6 %
19	5 %
23	4 %
25	4 %

Tabla II**Espectro Armónico de un convertidor de 12 pulsos**

<i>Orden del Armónico</i>	<i>Magnitud de corriente</i>
1	100%
11	9 %
13	8 %
23	4 %
25	4 %

Calculado el efecto armónico y las distorsiones en las barras de interés, y teniendo en cuenta los límites de distorsión impuestos se puede ubicar y determinar el tamaño de los filtros necesarios para la atenuación de los armónicos, de modo que se puedan mantener los niveles de distorsión dentro de lo recomendable.

Para una determinación final, es necesario realizar un estudio de la inserción de armónicos en el sistema, el mismo que se realiza mediante cálculos de flujo de potencia considerando varias frecuencias de operación para el sistema, esto es, uno para cada frecuencia armónica, lo cual permitirá el conocimiento de las tensiones y corrientes armónicas a lo largo de todo el sistema eléctrico.

1.4 Nivel de Distorsión armónica técnica y económicamente aceptable.

Teóricamente sería deseable eliminar completamente las distorsiones armónicas del sistema, pero esto resulta difícil realizar por los altos costos que involucra, por tanto, se trata de mantener un nivel aceptable que no resulte dañino para el sistema en su conjunto.

En muchos países se ha normado a este respecto, la finalidad es disminuir la contaminación armónica de los sistemas eléctricos, pues se estima que para el año 2000 cerca del 60% de la electricidad circulará a través de cargas no lineales en los países desarrollados; en nuestro país se tiene establecida la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos.

De esta manera, los proyectos de reducción de armónicos toman en

cuenta los niveles de distorsión límite establecidos, de forma que la reducción armónica quede por debajo de dicho límite.

Si el nivel de armónicos de un sistema eléctrico excede los límites establecidos, se penaliza al suministrador de energía eléctrica responsable, obligándolo a compensar a todos sus clientes afectados por la distorsión. El suministrador de energía eléctrica puede trasladar una penalización a sus clientes que originen una distorsión superior al límite establecido. Por tanto, es necesario que las empresas industriales realicen un estudio de los armónicos en su planta y consideren programas tendentes a la reducción para evitar problemas de penalización.

En nuestro país los niveles límite de distorsión armónica de tensión, se encuentran establecidos en la "Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos", aprobada el 9 de octubre de 1997. Dichos niveles de distorsión se encuentran indicados en la tabla III adjunta.

Tabla III
Tensiones Armónicas límites, según la norma peruana de calidad de los servicios eléctricos

ORDEN (n) DE LA ARMÓNICA o THD	TOLERANCIA [V _i] o [THD] % respecto a la tensión nominal del punto de medición	
	Tensiones mayores a 60 kV	Tensiones menores o iguales a 60 kV
Armónicas impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
mayores de 25	0.1+2.5/n	0.2+2.5/n
Armónicas impares no múltiplos de 3		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
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	0.5
THD	3	5

1.5 Filtros de Armónicos

Los filtros de armónicos de corriente alterna se instalan con el objetivo de suministrar toda o parte de la potencia reactiva solicitada por el sistema, así como de reducir las tensiones y corrientes armónicas a niveles aceptables. De esta forma se eliminarán las penalidades por generación de armónicos, así como se conseguirá que la facturación por consumo de energía reactiva se anule.

1.5.1 Composición de los filtros

En general los filtros se componen de dispositivos de conexión y desconexión, equipos de seccionamiento, de protección, de control, aparatos de señalización, reactores y bancos de condensadores.

Todos los componentes del filtro son cuidadosamente seleccionados de forma que cuando el filtro sea instalado y puesto en operación en el lugar de utilización, no se presenten problemas técnicos indeseables que incluso puedan dañar a otros equipos del sistema.

Se pone especial interés en la selección del reactor y del banco de condensadores, toda vez que forman parte principal del conjunto. La selección inadecuada de cualquiera de los dos equipos puede ocasionar operaciones incorrectas que afecten a todo el conjunto del filtro y otros elementos del sistema eléctrico, además de ocasionar elevados gastos si es que se sobredimensiona los equipos al buscar seguridad y confiabilidad.

A continuación se explica algunas consideraciones importantes para la decisión de seleccionar los filtros.

Es usual que los armónicos de bajo orden presenten grandes amplitudes en comparación con los armónicos de orden superior, por lo cual los filtros de bajo orden deben ser de baja impedancia para frecuencias en el entorno de estas frecuencias armónicas. Esta es la razón por la cual es mucho más económico utilizar un filtro sintonizado para cada una de esas armónicas en lugar de utilizar solamente un filtro de banda ancha para la filtración de todos los armónicos.

Los armónicos de orden superior poseen por lo general amplitudes menores, y en este caso la solución técnica más económica es utilizar solamente un filtro de tipo pasa-alta, para filtración de todos los armónicos superiores.

1.5.2 Potencia del filtro

Como definición se entiende que la potencia del filtro es igual a la potencia reactiva que el filtro suministra a la frecuencia fundamental.

El dimensionamiento de los elementos del filtro, sin embargo, tiene que considerar las potencias reactivas a la frecuencia fundamental y a la frecuencia para la cual el filtro es proyectado.

1.5.3 Dimensionamiento del filtro

Las inductancias de los reactores varían inversamente con el cuadrado de la orden de los armónicos, es decir, armónicos mayores exigirán reactores menores.

Dado que el costo de los reactores está directamente relacionado al valor de la inductancia, sería conveniente que estas fuesen las menores posibles, sin

que se pueda evitar entretanto, el hecho de que los armónicos de bajo orden exigen necesariamente filtros mayores y consecuentemente elementos de mayor potencia.

Adicionalmente, los siguientes criterios son necesarios tomar en cuenta para efectuar el dimensionamiento de los filtros.

Para los filtros sintonizados, pese a que un factor de calidad elevado signifique bajas pérdidas y buena selectividad, éste no puede ser exageradamente elevado, ya que esto implicaría un sistema poco amortiguado, pudiendo ocurrir oscilaciones prohibitivas durante los transitorios propios de las operaciones de maniobra de los filtros. Además, debe considerarse que la frecuencia del sistema no es constante, presentando oscilaciones que podrán desintonizar los filtros en caso que estos se presenten exageradamente sintonizados (factor q muy elevado).

Debido a que la frecuencia de resonancia del sistema, para la cual el filtro anti-resonante está sintonizado, puede presentar variaciones a medida que el nivel de corto circuito del sistema aumenta con el tiempo, este filtro no puede tener factor de calidad muy alto. El filtro pasa alta a su vez, por su propia característica exige un factor de calidad bajo, esto es, un factor de calidad menor que 5.

La condición que se debe cumplir es la de que el factor de calidad " q " debe ser tal que garantice al filtro, en la frecuencia de sintonía, una impedancia mucho menor que la impedancia del sistema en esta misma frecuencia. Esta condición garantizará la eficacia de la filtración de armónicos, manteniendo la

distorsión dentro de los límites impuestos.

Las siguientes ecuaciones nos relacionan la dependencia de las variables L y C con respecto a la frecuencia, así mismo se expresa la ecuación del factor de calidad. Estas ecuaciones permiten explicar lo comentado en los párrafos anteriores:

$$C_h = \text{VAR}_{C_h} / (V^2 \times w)$$

$$L_h = 1 / ((C_h) \times (w \times h)^2)$$

$$q = w \times R \times C$$

Donde:

C_h : Capacitancia del filtro para el armónico h

VAR_{C_h} : Potencia reactiva suministrada por la capacitancia C_h a 60 Hz

V_h : Tensión nominal del sistema

w : Velocidad angular del sistema en rad/seg

L_h : Inductancia del filtro para el armónico h

h : Número de orden armónico

R : Resistencia del filtro

1.5.4 Determinación del número de filtros

Para determinar el número de filtros necesarios, debe analizarse la respuesta de frecuencia del sistema, cuando se disponga de ella, allí se podrá identificar con claridad que hay posibilidades de resonancia en determinadas frecuencias, en caso no se disponga de esta información podrá usarse los resultados de una medición de armónicos del sistema y verificar la coincidencia

entre las posibles órdenes de armónicos resonantes del sistema con el que resulte de la aplicación de la siguiente ecuación:

$$h \geq \sqrt{(kVAs / kVARc)}$$

donde:

h : Número de orden armónico de resonancia

$kVAs$: kVA de corto circuito trifásico del sistema en la barra de evaluación

$kVARc$: kVAR del capacitor

Hay aspectos importantes a tomar en cuenta:

El primero es que debe conocerse que ocurrirá la distorsión armónica más severa cuando la frecuencia de resonancia paralela es igual a la frecuencia generada por la carga no lineal. A esta frecuencia la corriente del banco de condensadores puede llegar a ser varias veces la corriente nominal del banco, lo cual puede afectar a los equipos del sistema.

Segundo, la distorsión total armónica (THD) de la tensión a esa frecuencia de resonancia será también excesiva.

Tercero, es preferible instalar un adecuado número de filtros al sistema, de forma que el daño ocasionado a equipos instalados entre el filtro y la carga no lineal sea mínimo, para esto es conveniente ubicar los filtros muy cerca de la carga no lineal que genera los armónicos, así tanto el recorrido de los armónicos y el número de equipos que sufren la sobrecorriente son mínimos.

1.5.5 Respuesta de un filtro en el sistema

La función de los filtros de armónicos es cambiar ó mover la frecuencia

de resonancia paralela del banco de condensadores y la fuente generadora de armónicos a una frecuencia que es menor que la frecuencia del esperado armónico más bajo.

Debido a las tolerancias de fabricación de los componentes de los filtros, la frecuencia del filtro puede llegar a un valor de 3% a 10% menor que la frecuencia del esperado armónico más bajo. Estos filtros son a veces denominados como filtros no sintonizados. Por ejemplo, un filtro del quinto armónico típicamente resulta sintonizado al 4.7avo armónico y no al 5to. armónico. Esto ocasionará que un pequeño porcentaje de la corriente del 5to. armónico circule desde la fuente de armónicos. Por tanto la distorsión armónica de tensión debida al 5to. armónico será pequeña así como el THD de tensión será también disminuida.

1.5.6 Verificación de los niveles de distorsión resultantes

Una vez instalados y puestos en operación los filtros en un sistema, es necesario verificar que su operación es satisfactoria, para esto deben efectuarse mediciones del nivel de armónicos en varios puntos del sistema, sobre todo en aquellas zonas donde el nivel de armónicos resultó alto en la etapa previa al estudio ó donde se verificó mayores problemas con armónicos.

Esta labor es importante por que permitirá confirmar finalmente que la ubicación, el tamaño y el número de filtros son adecuados por que permiten disminuir el nivel de armónicos a un nivel aceptable y la compensación reactiva es también satisfactoria.

Una mala selección del número de filtros puede ocasionar que cargas no

lineales ubicadas cerca de uno de ellos puedan sobrecargar y dañar al filtro, pues el filtro también soportará las corrientes armónicas generadas por las otras cargas.

CAPÍTULO II

SITUACIÓN INICIAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO

2.1 Antecedentes y diagnóstico

El sistema eléctrico de la fábrica de papel presenta las siguientes características:

Alimentación de la empresa de distribución de energía eléctrica en red primaria de 10 kV, a través de 4 transformadores de 2MVA de potencia nominal cada uno, con secundarios de 440 Vac. Los alimentadores de la planta salen del secundario de cada transformador.

Todo el sistema de la planta fue diseñado, instalado y puesto en operación por una empresa italiana especialista en papeleras bajo la modalidad "llave en mano", la cual anticipó un problema de armónicos y recomendó que todas las cargas no lineales sean alimentadas solo desde el transformador TR-3, de forma que si el nivel de THD era alto, la eliminación de armónicos resulte más sencilla con solo un filtro ubicado en este alimentador. Según el proyecto inicial, los transformadores TR-1, TR-2 y TR-4 alimentarían el resto de la carga, la cual según los criterios de diseño, estaría constituida fundamentalmente por cargas lineales.

Tomando en cuenta la recomendación de la firma especialista, los dueños

de la empresa papelera decidieron compensar la potencia reactiva de la planta para eliminar la facturación por energía reactiva. Previamente, hicieron mediciones de armónicos en el alimentador del TR-3 obteniendo un THD no muy alto, por lo cual asumieron que no habrían inconvenientes con la instalación de los bancos de condensadores. Así, decidieron adquirir tres bancos de condensadores con las siguientes potencias reactivas recomendadas previamente en los estudios de diseño de la planta:

TR-1 : Banco automático de 800 kVAR, 440 V ac, 60 Hz, 10 pasos

TR-2 : Banco automático de 600 kVAR, 440 V ac, 60 Hz, 10 pasos

TR-4 : Banco automático de 900 kVAR, 440 V ac, 60 Hz, 10 pasos

Desgraciadamente, con la instalación de los bancos de condensadores se presentaron evidencias del efecto negativo de los armónicos, llegando a fundirse reiteradamente los fusibles, disparo frecuente de interruptores y finalmente destruirse los condensadores. También resultó notorio un notable incremento en el calentamiento de los transformadores de potencia, de los conductores alimentadores y la destrucción por sobre temperatura de varios contactores.

A consecuencia de estos defectos, se procedió a medir el nivel de armónicos en cada uno de los cuatro alimentadores y se verificó la existencia de una distorsión armónica prohibitiva causante del daño de los equipos. Los cuatro alimentadores de la planta caracterizaban distorsión armónica de tensión.

Las mediciones permitieron verificar que la distribución de cargas en los alimentadores no se encontraba conforme lo proyectado en el diseño original,

pues el propietario había modificado los circuitos sin preocuparse en mantener las cargas no lineales conectadas solo al alimentador TR-3.

Por esta razón se hizo necesario evaluar el sistema y plantear una solución al problema de los armónicos en tiempo breve, pues los costos por consumo de energía reactiva eran altos y los problemas ocasionados por los armónicos al equipamiento eléctrico eran notorios.

Antes del incremento de armónicos, con la instalación de los bancos de condensadores, el propietario no era conciente que el excesivo calentamiento de motores, disparos injustificados de algunos interruptores así como el calentamiento de los transformadores de potencia eran efectos producidos por los armónicos existentes en su planta, por lo que prácticamente asumió dichos efectos como propios del proceso de producción y no hubo preocupación por limitarlos. Inclusive se estuvieron manteniendo las puertas de las celdas de los cuatro transformadores de potencia totalmente abiertos y con ventiladores exteriores para aminorar la temperatura; es decir mantenían a los transformadores con ventilación forzada para evitar que se sobrecalienten y dañen.

Al explicar al propietario que la solución a los problemas técnicos que presentaba el sistema eléctrico de su fábrica era la instalación de filtros de armónicos pero que estos implicaban un costo de inversión mucho más alto que la de los condensadores destruidos, el propietario reaccionó de modo negativo e intentó desechar el proyecto y muy por el contrario se interesó por sustentar un reclamo por la garantía al fabricante suministrador de los bancos de

condensadores siniestrados.

Aún después de aclarar las consultas del propietario y de explicar las ventajas de tener un sistema sin armónicos, este no se hallaba convencido de la necesidad de realizar un nuevo estudio de armónicos y compensación reactiva, y se tuvo que argumentar adicionalmente, que no estaba muy lejos la entrada en vigencia de la norma de calidad de los servicios eléctricos en el país, con lo cual se penalizaría con una multa al usuario que introduzca armónicos al sistema, siendo esto de por sí desfavorable para su empresa, pues sus gastos por consumo de energía eléctrica se incrementarían.

Finalmente, el propietario aceptó la realización de un nuevo estudio de armónicos y de compensación reactiva, el cual constituye tema del presente trabajo.

2.2 Mediciones realizadas

Como lo anticipado en el párrafo anterior, se procedió a medir el nivel de armónicos en los cuatro alimentadores del sistema, para lo cual se utilizó un analizador de armónicos trifásico marca ELCONTROL, modelo VIP SYS.3.

Para efectos de la medición se procedió intentando que los valores medidos correspondan a una operación ~~standard~~ del sistema, es decir se midieron en momentos de operación corriente. En los alimentadores con cargas generadoras de armónicos importantes se solicitó poner en marcha dichos equipos simultáneamente para realizar una medición particular, de forma que se pueda medir en la peor de las condiciones de operación. Adicionalmente, se realizaron mediciones individuales de cada una de las principales cargas

generadoras de armónicos, de esta forma se facilitaría la identificación de las principales características del espectro de armónicos.

También se obtuvo de la empresa de distribución de energía eléctrica, suministradora de energía eléctrica a la fábrica, los datos de la potencia de cortocircuito del sistema en los puntos de alimentación de la planta. Al respecto se recibió la información de la actual potencia de cortocircuito y también el futuro valor, pues el suministrador de energía tenía programado cambiar la topología de la red de media tensión con la inclusión de otra subestación, por lo cual la potencia de corto circuito cambiaría notablemente. Los valores de potencia de corto circuito indicados fueron:

Actual : 53 MVA

Futuro : 198 MVA, lo cual ocurriría en 6 meses como máximo.

Los resultados completos de las mediciones se encuentran en el Anexo

C.

A continuación se indica a manera de resumen el rango en que oscilan las lecturas de distorsión de tensión:

Barras en 10 kV	5,1%
Barras de TR-1, 440 V	8 - 9%
Barras de TR-2, 440 V	4 - 5%
Barras de TR-3, 440 V	12-14%
Barras de TR-4, 440 V	6 - 7% (sin capacitores)
	8 - 10% (con capacitores conectados)

2.3 Determinación de las fuentes generadoras de armónicos

Las cargas generadoras de armónicos fueron ubicadas e identificadas en cada uno de los alimentadores de la planta. Los resultados de las mediciones en las principales fuentes generadoras son las siguientes:

a.- Variador de velocidad en la barra TR-1, carga denominada A2:

Corriente fundamental : 1050 A (máximo)

Distorsión total de corriente : 39 %

b.- Variador de velocidad en la barra TR-2, carga denominada A3:

Corriente fundamental : 575 A (máximo)

Distorsión total de corriente : 25 %

c.- Variador de velocidad en la barra TR-3, carga denominada A1:

Corriente fundamental : 1280 A (máximo)

Distorsión total de corriente : 33 %

d.- Arrancador electrónico en la barra TR-4, carga denominada Soft Starter:

Corriente fundamental : 540 A (máximo)

Distorsión total de corriente : 10 %

2.4 Caracterización de las fuentes generadoras de armónicos.

De lo observado en los resultados de las mediciones en comparación con las tablas I y II de caracterización de inversores de 6 y 12 pulsos indicados en el Capítulo I, y considerando la naturaleza de las cargas generadoras de armónicos se puede concluir que es correcto asumir las cargas como inversores típicos de 6 pulsos.

Así, para el análisis de armónicos se toma en cuenta los efectos

producidos por inversores de 6 pulsos con la corriente máxima antes indicada y ubicados en cada barra de alimentación.

De acuerdo a lo explicado, puede considerarse por anticipado que el filtro deberá ser diseñado para el quinto armónico, pues es el mínimo armónico que tiene mayor presencia en una carga con característica de tipo inversor de 6 pulsos. Esta condición es el punto de partida de la etapa de simulación estudio.

Por tanto, la aseveración de que los filtros necesarios son de quinta armónica será verificada en la etapa de simulación en el Capítulo IV, donde varias de las condiciones de simulación contemplan la inclusión de filtros de quinta armónica; en caso que filtrar el quinto armónico no sea suficiente y el nivel de armónicos continúe siendo superior al nivel permitido, entonces se toma en cuenta adicionalmente filtros de la séptima armónica también presentes en el modelo y el sistema, después de lo cual se procede nuevamente a simular la operación del sistema. Si aún el nivel de armónicos continua siendo alto, entonces se considera adicionalmente otro filtro de la 11 ava armónica y se vuelve a simular la operación del sistema en tales condiciones. Este procedimiento se repite hasta cuando se obtenga un nivel armónico menor al establecido.

CAPÍTULO III PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL SISTEMA

3.1 Demanda del sistema

La potencia contratada por la fábrica de papel con la empresa de distribución suministradora de energía eléctrica fue de 4200 kW, la cual sirvió de referencia para el dimensionamiento de los filtros, así mismo se tomó en cuenta que la necesidad de compensación reactiva era de 3400 kVAR.

3.2 Potencia de corto circuito.

La información fue proporcionada por la empresa de distribución que suministra energía eléctrica a la fábrica, así, para el diseño se tuvo en cuenta lo siguiente:

Potencia de cortocircuito en barra de 10 kV:

Potencia de cortocircuito actual : 53 MVA

Potencia de cortocircuito futuro : 198 MVA

El cambio de potencia de cortocircuito se produciría en aproximadamente 6 meses, por lo cual se hizo necesario tomar en cuenta el efecto de ambos parámetros con el sistema a fin de prevenir gastos innecesarios por sobredimensionamiento y/o errores en los cálculos, pues es sabido que a mayor potencia de cortocircuito el nivel de armónicos puede atenuarse.

3.3 Orden del filtro y potencia reactiva a compensar

Como lo anticipado en el capítulo anterior, se consideró necesario filtrar el quinto armónico del sistema, por lo cual todos los filtros a instalar serían de esta orden.

La potencia reactiva total a compensar en la planta papelera para evitar pagos por consumo de energía reactiva fue establecido de 3400 kVAR.

Este valor es la potencia reactiva que el filtro debe suministrar en la frecuencia fundamental, es decir no incluye la potencia reactiva a la frecuencia para la que el filtro es proyectado.

3.4 Determinación del número de filtros

Inicialmente, se decidió compensar mediante filtros independientes para cada alimentador en el lado de baja tensión, es decir que el número de filtros a instalar fue fijado en cuatro.

Se tomó esta decisión considerando que no es posible conectar todas las cargas generadoras de armónicos a un solo alimentador, de forma que un solo gran filtro pudiera asumir toda la carga reactiva del sistema y consiguiera reducir los armónicos al nivel aceptable.

A continuación se señalan algunas de las razones, que entre otras, fueron determinantes para esta decisión:

- La ubicación física de las cargas dentro de la planta no permite aislar las cargas generadoras de armónicos en un solo alimentador.
- Por la facilidad para el mantenimiento de la planta, ya que para ello se tienen que realizar cortes de suministro por secciones completas de la planta y no es conveniente fraccionar los procesos por tratarse de líneas

de producción integrales.

- Por la necesidad de disminuir la innecesaria sobrecarga de todos los transformadores de potencia y los alimentadores del sistema.
- Disminuir las pérdidas en los transformadores y alimentadores.
- Minimizar el daño a equipos y dispositivos eléctricos en el lado de baja tensión, tales como conductores, fusibles, contactores, motores, etc.

La potencia reactiva a compensar en cada barra para eliminar el pago por consumo de energía reactiva fue considerada de la siguiente forma:

Alimentador TR-1	800 kVAR
Alimentador TR-2	700 kVAR
Alimentador TR-3	1000 kVAR
Alimentador TR-4	900 kVAR

3.5 Determinación del número de pasos de los filtros

La naturaleza de las cargas y su variabilidad en el tiempo obligan a instalar filtros automáticos con la mayor cantidad de pasos técnicamente posibles, de forma que la capacidad de suministro de reactivos para atención de las cargas sea muy próxima de la curva característica de las cargas del sistema. De esta forma se conseguirá que el ingreso ó salida de cada paso al sistema no ocasionen transitorios muy pronunciados.

Por otra parte, por criterios de confiabilidad, es conveniente tomar en cuenta que para evitar que por una posible falla en uno de los pasos de un filtro la fábrica se vea perjudicada pagando el consumo de energía reactiva, es prudente diseñar cada paso de los filtros de la misma potencia, de forma que los

pasos puedan ser intercambiables.

CAPÍTULO IV

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN Y SIMULACIÓN DE ARMÓNICOS

Fueron planteadas seis situaciones de operación teórica con el objetivo de conseguir la mejor solución técnica - económica y así mantener niveles de distorsión armónica aceptables que eviten cualquier penalidad por generación de armónicos.

El software de simulación de armónicos empleado para el análisis es el programa HARMOD elaborado por la consultora Canadiense CYME International Inc., el cual permite evaluar y predecir las distorsiones armónicas en sistemas eléctricos variando la frecuencia del sistema, así como facilitando la simulación de las cargas, la impedancia del sistema y de las fuentes generadoras de armónicos. Se trata de un programa que simula todas las situaciones de operación posibles del sistema.

Así, con los resultados del programa se puede tener certeza que las alternativas de solución analizadas y halladas más convenientes no sobrepasarán los niveles de armónicos aceptables y permitirán compensar la energía reactiva necesaria sin inconvenientes en cada uno de los pasos de los filtros, pues como se sabe, conforme se modifique la capacidad del filtro se modifica también la impedancia total del sistema por lo cual puede existir el

riesgo de resonancia. Esto significa que el programa tiene capacidad para simular la operación del sistema para cada paso del filtro y para cada frecuencia de riesgo, por lo cual, los resultados que se obtienen con el programa son sumamente confiables.

En cada caso que se plantea como escenario, se explican todas las condiciones teóricas de operación asumidas para la simulación de armónicos, es decir se explica la naturaleza de la carga, la potencia de corto circuito, las fuentes de generación de armónicos que intervienen y otros datos particulares a cada caso.

4.1 Situación inicial

La simulación de armónicos en este caso obedece más a la necesidad de conocer los niveles de distorsión armónica que presenta el sistema eléctrico de la fábrica, no constituyendo por tanto una alternativa de solución.

Las condiciones básicas de simulación fueron:

- Todas las cargas no lineales con generación armónica máxima
- Potencia de cortocircuito trifásico del sistema en 10 kV igual a 53 MVA
- Los alimentadores TR-1, TR-2 y TR-4 sin bancos de condensadores

4.2 Situación con capacitores

En forma similar a la situación anterior este caso no obedece a una solución, sino que en este caso se pretendía mostrar al propietario de la planta las condiciones de operación a que estuvieron sometidos los bancos de condensadores inicialmente instalados y convencerlo que no era posible efectuar una labor de compensación reactiva solamente con condensadores.

La simulación permite apreciar con claridad la variación de la tensión ante los efectos de resonancia eléctrica del sistema por la presencia de los condensadores.

Las condiciones básicas de simulación del sistema para este caso fueron:

- Todas las cargas no lineales con generación armónica máxima
- Potencia de cortocircuito trifásico del sistema en 10 kV igual a 53 MVA
- Los alimentadores TR-1, TR-2 y TR-4 con compensación reactiva debida a la instalación de bancos de condensadores con potencia reactiva similar a lo inicialmente instalado.

4.3 Situación con instalación de filtros en baja tensión con Pcc de 53MVA

En este caso, la simulación del sistema pretendió evaluar la operación del sistema considerando que todos los alimentadores del sistema poseían filtros instalados de quinta armónica. Esta situación sería una de las alternativas de solución inmediata, toda vez que también contempla la potencia de corto circuito de 53 MVA, pero a la vez la más costosa, pues se está considerando el número máximo de filtros en una situación donde la impedancia de cortocircuito de la red es la más pequeña, esperando por tanto equipamiento de filtros bastante robustos.

Las condiciones de simulación fueron:

- Todas las cargas no lineales con generación armónica máxima
- Potencia de cortocircuito trifásico del sistema en 10 kV igual a 53 MVA
- Los alimentadores TR-1, TR-2, TR-3 y TR-4 con compensación reactiva

mediante filtros de armónicos de quinto orden

4.4 Situación con instalación de filtros y condensadores en baja tensión con Pcc 198MVA

Dado que es posible realizar una redistribución de cargas que permita retirar prácticamente todas las cargas generadoras de armónicos del alimentador TR-4, en este caso se asume un sistema eléctrico sin armónicos para dicho alimentador. De esta forma se procedería a compensar los reactivos necesarios en el alimentador TR-4 mediante un banco de condensadores standard fijo, es decir no necesariamente un filtro. Esta es la característica principal de este escenario de simulación.

La idea es obtener una configuración de filtros más económica para la etapa de futuro del sistema de la fábrica, es decir con una potencia de corto circuito de 198 MVA, toda vez que la aparente lejanía en el tiempo del inicio de la operación del nuevo sistema de distribución primaria difiere muy poco del tiempo necesario para la fabricación, transporte, instalación y puesta en servicio de los filtros. El hecho que el banco de condensadores en TR-4 sea fijo, facilita la confirmación de que los fenómenos de resonancia y sobretensión serán poco probables en la operación del sistema de la fábrica.

Este escenario se presentaba desde el principio como el más conveniente, pero era necesario conocer los resultados de simulación para corroborarlo.

Las condiciones de simulación fueron:

- Todas las cargas no lineales con generación armónica máxima

- Potencia de cortocircuito trifásico del sistema en 10 kV igual a 198 MVA
- Los alimentadores TR-1, TR-2 y TR-3 con compensación reactiva mediante filtros de armónicos de quinto orden.
- Las cargas generadoras de armónicos del alimentador TR-4 trasladadas al alimentador TR-2.
- Mantener la compensación reactiva del alimentador TR-4 con un banco de condensadores de 900 kVAR.

4.5 Situación con instalación de filtros en media tensión con actual Pcc de 53MVA

A solicitud de los propietarios de la fábrica se consideró en el estudio la posibilidad de ubicar los filtros de armónicos en el lado de 10 kV del sistema, intentando con esto que los costos de inversión del sistema de compensación reactiva en su conjunto se reduzcan. Se necesitaba mostrar al propietario las condiciones técnicas de la operación del sistema en estas condiciones.

Como se mencionó en el Capítulo II, la compensación reactiva en este caso no se consideraba técnicamente viable, las razones se exponen en dicho capítulo, sin embargo se evaluó a manera de comprobación de lo previamente anticipado.

Las condiciones de simulación fueron las siguientes:

- Todas las cargas no lineales con generación armónica máxima
- Potencia de cortocircuito trifásico del sistema en 10 kV igual a 53 MVA
- Un único filtro de armónicos de quinto orden del tipo automático suministrando una potencia reactiva efectiva de 3 400 kVAR en 10 kV.

4.6 Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 198 MVA

De manera similar a la situación anterior, se procedió a evaluar la posibilidad de instalar un filtro de armónicos automático en el lado de 10 kV y considerando la corriente de cortocircuito futuro.

Las condiciones de simulación fueron las siguientes:

- Todas las cargas no lineales con generación armónica máxima
- Potencia de cortocircuito trifásico del sistema en 10 kV igual a 198 MVA
- Un único filtro de armónicos de quinto orden, del tipo automático para suministrar toda la potencia reactiva efectiva de 3400 kVAR en 10 kV.

CAPÍTULO V

RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN

La ubicación de los lugares de interés, en el sistema eléctrico de la fábrica, donde es importante conocer los valores de distorsión armónica de tensión THD, para cada una de las situaciones planteadas en el capítulo anterior, son los siguientes:

- Barra de 10 kV de la sub estación principal
- Alimentador TR-1, lado de baja tensión en 440 V, 60 Hz
- Alimentador TR-2, lado de baja tensión en 440 V, 60 Hz
- Alimentador TR-3, lado de baja tensión en 440 V, 60 Hz
- Alimentador TR-4, lado de baja tensión en 440 V, 60 Hz

Los resultados obtenidos en cada caso de simulación, de acuerdo a la aplicación de cargas no lineales y las condiciones previamente indicadas en el capítulo anterior, son los siguientes:

5.1 Situación inicial

Las distorsiones armónicas de tensión obtenidas, aparecen indicadas a continuación en la Tabla IV:

Tabla IV

<i>Distorsiones de Tensión</i>	
Ubicación	% de distorsión
10 kV	6,23 %
TR-1	10,31 %
TR-2	6,01 %
TR-3	11,99 %
TR-4	7,24 %

Como se indicó previamente, el nivel de distorsión armónica del sistema superaba el nivel mínimo permitido por las normas, lo cual hace riesgoso instalar bancos de condensadores.

5.2 Situación con capacitores

Las distorsiones de tensión obtenidas fueron las siguientes:

Tabla V

<i>Distorsiones de Tensión</i>	
Ubicación	% de distorsión
10 kV	9,65 %
TR-1	21,33 %
TR-2	19,07 %
TR-3	31,62 %
TR-4	24,81 %

Como lo indicado en el capítulo anterior, este caso permite observar que la presencia de los condensadores en el sistema eléctrico de la fábrica de papel con elevados niveles de distorsión armónica origina un

acercamiento del fenómeno de resonancia, lo cual incrementa notablemente las tensiones del sistema.

Es sabido que las sobretensiones pueden poner en riesgo la integridad de equipos electrónicos, motores, transformadores y otros.

En estas condiciones es imposible obtener una alternativa de compensación reactiva sin incluir filtros de armónicos. Estos resultados permitieron confirmar el convencimiento al propietario.

5.3 Situación con instalación de filtros en baja tensión con Pcc de 53MVA

Las distorsiones de tensión obtenidas fueron las siguientes:

Tabla VI

<i>Distorsiones de Tensión</i>	
Ubicación	% de distorsión
10 kV	4,20 %
TR-1	5,94 %
TR-2	4,81 %
TR-3	6,16 %
TR-4	4,79 %

Esta situación anunciada como la alternativa de solución más costosa e inmediata por que considera la potencia de cortocircuito de 53 MVA, permite obtener disminución de la distorsión armónica en el sistema hasta por debajo de los niveles aceptables por la norma de calidad peruana, en cuanto al alimentador de 10 kV se refiere.

Sin embargo, una evaluación de los resultados al interior del sistema permiten observar que los alimentadores TR-1 y TR-3 presentan distorsión armónica de tensión considerable, lo cual implica necesidad de filtros adicionales para disminuir dicho nivel de distorsión. Esto significa incremento del costo de inversión del proyecto.

Solo con la instalación de filtros adicionales en TR-1 y TR-3 se pueden compensar la energía reactiva necesaria y garantizar una adecuada operación de máquinas y equipos.

5.4 Situación con instalación de filtros y condensadores en baja tensión con Pcc 198MVA

Las distorsiones de tensión obtenidas fueron las siguientes:

Tabla VII

<i>Distorsiones de Tensión</i>	
Ubicación	% de distorsión
10 kV	0,54 %
TR-1	2,22 %
TR-2	1,14 %
TR-3	1,32 %
TR-4	0,61 %

Como en el caso anterior puede observarse que el nivel de distorsión es bajo, esto se debe a que la potencia de corto circuito es alto. Es notorio que el nivel de disminución de la distorsión armónica es mucho mayor que la del caso con 53 MVA.

De los resultados se puede concluir que es adecuado instalar un banco de condensadores en TR-4, logrando así disminuir el costo de inversión.

La distorsión armónica en el TR-4 con condensadores instalados en ese punto llega a 0,61%, lo cual se encuentra dentro de los niveles de diseño contemplados por los fabricantes de condensadores; es decir no se tendrían problemas de sobrecorriente para los condensadores.

En este caso, por los resultados obtenidos, puede considerarse por tanto que queda garantizado una operación óptima y satisfactoria del sistema y los equipos.

5.5 Situación con instalación de filtros en media tensión y con Pcc de 53 MVA

Las distorsiones de tensión obtenidas en este caso fueron las siguientes:

Tabla VIII

<i>Distorsiones de Tensión</i>	
Ubicación	% de distorsión
10 kV	1,60 %
TR-1	5,37 %
TR-2	2,91 %
TR-3	5,29 %
TR-4	1,77 %

Una comparación de los resultados de este caso con el del caso 5.3 permite comprobar que de no ser necesario aliviar las sobre corrientes y sobre tensiones del sistema en baja tensión, la instalación de filtros en media tensión

permite obtener una menor distorsión en la barra de 10 kV. Es decir no se sobre pasa el nivel de distorsión armónica ante el suministrador de energía eléctrica, pero se tendrían prácticamente los mismos problemas iniciales al interior de la fábrica, pues al igual que en la situación 5.3, existen niveles de distorsión armónica peligrosos en TR-1 y TR-3, lo cual significa que si se desea eliminar los riesgos, sería necesario el incremento de filtros en el lado de baja tensión de estos alimentadores, originando con ello un incremento de la inversión inicial.

5.6 Situación con instalación de filtros en media tensión con Pcc de 198 MVA

Las distorsiones de tensión obtenidas fueron las siguientes:

Tabla IX

<i>Distorsiones de Tensión</i>	
Ubicación	% de distorsión
10 kV	0,67 %
TR-1	4,88 %
TR-2	2,25 %
TR-3	4,87 %
TR-4	0,91 %

Del mismo modo que en el caso anterior, aun cuando en el presente caso el nivel de distorsión armónica es menor, puede observarse que los alimentadores TR-1 y el TR-3 presentan un nivel considerable de distorsión armónica.

Estos resultados indican que es necesario el incremento de filtros de armónicos en el lado de baja de tensión de dichos alimentadores.

CAPÍTULO VI

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE DISEÑO DEL EQUIPAMIENTO PRINCIPAL DE LOS FILTROS

La configuración de los filtros se caracteriza por que todos ellos están conformados por los mismos pasos unitarios de 100 kVAR, por lo cual los cálculos de parámetros para cada paso individual son únicos. Los cálculos de parámetros para cada filtro difiere en cuanto al número de pasos que el filtro dispone.

En el presente caso, se exponen las fórmulas de cálculo de los parámetros aplicables a un paso de 100 kVAR del filtro, y los resultados para cada filtro en particular son indicados en las tablas que aparecen debajo de cada fórmula.

6.1 Corriente nominal de diseño de cada paso de los filtros

La corriente nominal por fase viene dada por la siguiente expresión:

$$I_n = \text{kVAR}_t / (\sqrt{3} \times V_s)$$

$$I_n = 100\,000 / (1,73 \times 440)$$

$$I_n = 131,20 \text{ Amperios RMS}$$

La corriente total por fase, la cual incluye también las corrientes armónicas sería:

$$I_{total} = \sqrt{I_n^2 + \sum I_h^2}$$

$$I_{total} = 165 \text{ Amperios}$$

donde:

kVAR_t : Es la potencia total de cada paso de 100 kVAR del filtro

V_s : Es la tensión entre líneas del sistema

I_h : Es el valor de corriente de cada armónico diferente de la fundamental, el cual es generado por la carga no lineal.

En la tabla X adjunta, se encuentran indicados los valores de corrientes armónicas, y de donde se puede calcular la corriente total "I_{total}".

Para mayor seguridad se ha considerado un factor equivalente al doble del efecto armónico, es decir se ha duplicado el valor eficaz de los armónicos superiores para el cálculo de la corriente total "I_{total}". Esto permitirá tener un valor de corriente de diseño suficientemente grande para evitar cualquier daño de los equipos ante cualquier contingencia.

Tabla X**Corrientes armónicas del sistema**

Orden	I	I²
1	131.28	17234.44
2	0.46	0.21
3	1.77	3.13
4	2.10	4.41
5	50.41	2541.17
6	0.29	0.08
7	4.79	22.94
8	0.24	0.06
9	0.64	0.41
10	0.20	0.04
11	1.12	1.25
12	0.19	0.04
13	0.31	0.10
14	0.20	0.04
15	0.41	0.17
16	0.18	0.03
17	1.62	2.62
18	0.18	0.03
19	1.17	1.37
20	0.18	0.03
21	0.18	0.03
22	0.18	0.03
23	0.39	0.15
24	0.18	0.03
25	0.71	0.50
Suma		19813.34
Contenido Armónico		50.78
Corriente eficaz (A)		140.76

Por tanto puede concluirse que el factor k de corrección de valores de corriente y tensión será:

$$k = I_{total} / I_n$$

$$k = 1,25$$

Así será suficiente diseñar los condensadores y reactores para soportar la siguiente tensión en régimen permanente:

6.2 Tensión nominal de diseño

$$V_{m\acute{a}x} = V_n \times k$$

$$V_{m\acute{a}x} = 440 \times 1,25 = 550 \text{ V rms}$$

6.3 Parámetros de los Condensadores

6.3.1 Tensión efectiva

La tensión efectiva que soportarán los condensadores será:

$$V_c = V_s \times (n^2 / (n^2 - 1))$$

$$V_c = 440 \times (25 / (25 - 1))$$

$$V_c = 458 \text{ Volts rms}$$

6.3.2 Capacitancia

La capacitancia trifásica de los condensadores conectados en triángulo será:

$$C_c = kVAR_t \times ((n^2 - 1) / n^2) / (2 \times \pi \times f \times V_s^2)$$

$$C_c = 100' \times 10^9 \times ((5^2 - 1) / 5^2) / (2 \times 3.14 \times 60 \times 440^2)$$

$$C_c = 1\,315 \text{ micro Faradios}$$

La capacitancia monofásica será por tanto:

$$C = C_c / 3$$

$$C = 438 \text{ micro Faradios por fase}$$

6.4 Parámetros de los Reactores

6.4.1 Tensión efectiva

La tensión efectiva que soportarán los reactores será:

$$V_r = V_s \times (1 / (n^2 - 1))$$

$$V_c = 440 \times (1 / (25 - 1))$$

$$V_c = 18,33 \text{ Volts rms}$$

6.4.2 Inductancia de los reactores

La inductancia monofásica de los reactores de cada paso será:

$$L_r = 1 \times 10^{12} / (3 \times (2 \times \pi \times f \times n)^2 \times C)$$

$$L_r = 1 \times 10^{12} / (3 \times (2 \times 3.14 \times 60 \times 5)^2 \times 438)$$

$$L_r = 215 \text{ micro Henrios}$$

6.5 Parámetros del seccionador

6.5.1 Corriente nominal del seccionador

La corriente mínima de diseño del seccionador a instalarse en cada paso del filtro viene dado por la expresión:

$$I_n = 1,3 \times I_{total}$$

$$I_n = 1,3 \times 165$$

$$I_n = 214,5 \text{ Amperios}$$

6.6 Parámetros de los fusibles

6.6.1 Corriente nominal de los fusibles

La corriente mínima de diseño viene dado por:

$$I_n = 1,2 \times I_{\text{total}}$$

$$I_n = 1,2 \times 165$$

$$I_n = 198 \text{ Amperios}$$

6.7 Parámetros de los contactores

6.7.1 Corriente nominal de los contactores

La corriente mínima de diseño viene dado por:

$$I_n = 1,33 \times I_{\text{total}}$$

$$I_n = 1,33 \times 165$$

$$I_n = 219,45 \text{ Amperios}$$

6.8 Parámetros de los conductores

6.8.1 Corriente nominal de los conductores

La corriente mínima de diseño de los conductores a utilizar para la conexión en cada paso del filtro viene dado por:

$$I_n = 1,3 \times I_{\text{total}}$$

$$I_n = 1,3 \times 165$$

$$I_n = 214,5 \text{ Amperios}$$

6.9 Corriente total del filtro

La corriente total del filtro será:

$$I_{\text{filtro}} = I_{\text{total}} \times \# \text{pasos}$$

El valor de la corriente en Amperios para el filtro es el indicado en la siguiente tabla:

Tabla XI

Filtro	Inductancia Total
TR-1	1320
TR-2	1155
TR-3	1650

(Los valores de corriente indicados en esta tabla incluyen el efecto de los armónicos)

6.10 Capacitancia total del filtro

La capacitancia por fase del filtro viene dada por la expresión:

$$C_{\text{filtro}} = C \times \text{\#pasos}$$

El valor en micro Faradios para cada fase del filtro es el indicado en la siguiente tabla:

Tabla XII

Filtro	Capacitancia Total
TR-1	3506
TR-2	3068
TR-3	4383

6.11 Inductancia total del filtro

La inductancia por fase del filtro viene dada por la siguiente expresión:

$$L_{\text{filtro}} = L_r / \text{\#pasos}$$

El valor en micro Henrios para cada fase del filtro es el indicado en la siguiente tabla:

Tabla XIII

Filtro	Inductancia Total
TR-1	26,87
TR-2	30,71
TR-3	21,50

CAPÍTULO VII

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO PRINCIPAL DE LOS FILTROS

7.1 Especificaciones generales de los filtros

La potencia trifásica total y el número de pasos de los filtros de armónicos a instalarse en cada alimentador del sistema eléctrico de la fábrica, es el siguiente:

TR-1 : Filtro de 800 kVAR, 8 pasos de 100 kVAR cada uno

TR-2 : Filtro de 700 kVAR, 7 pasos de 100 kVAR cada uno

TR-3 : Filtro de 1000 kVAR, 10 pasos de 100 kVAR cada uno

TR-4 : Banco de condensadores fijo de 900 kVAR

Otras características adicionales son las siguientes:

Número de fases	: Tres
Tensión nominal	: 440 V rms
Tensión de control	: 220 Vac
Frecuencia	: 60 Hz
Orden armónico	: Quinto
Frecuencia de resonancia	: 300 Hz
Conexión de los condensadores	: Delta

Inductancia total por fase en micro Henrios:

TR-1	: 26,87
TR-2	: 30,71
TR-3	: 21,50

Capacitancia total por fase en micro faradios:

TR-1	: 3506
TR-2	: 3068
TR-3	: 4383

Temperatura de operación	: -5 a +50°C
Altitud	: 1000 m.s.n.m.
Humedad	: 95% (sin condensación)
Operación	: Permanente
Grado de protección	: IP-30
Ventilación	: Natural y forzada

7.2 De los Condensadores

Los condensadores son trifásicos con resistores de descarga y fusibles de protección internos, impregnados en aceite, adecuados para servicio continuo, material dieléctrico de papel y película de polipropileno, aislante de material biodegradable, refrigerado por circulación natural, carcasa metálica cubierta con pintura a base de poliuretano alifático, aisladores de porcelana.

Adicionalmente, los condensadores presentan las siguientes características eléctricas particulares:

Capacitancia por fase	: 438 +/- 3% micro faradios
Capacitancia entre fases	: 657 +/- 3% micro faradios

Capacitancia total	: 1315 +/- 3% micro faradios
Impedancia entre fases	: 4,03 Ohmios a 60 Hz
Conexión interna	: Delta
Corriente nominal	: 165 A
Pérdidas	: Máximo 1W/kVAR a 60Hz y 25°C
Temperatura de Operación	: Máximo 80°C
Tensión nominal entre fases	: 0,60 kV, 60 Hz
Frecuencia nominal	: 60 Hz
Nivel de aislamiento	: 3kV, 60 Hz, durante 1 minuto
Tensión de impulso	: 30 kVp

Dada la importancia de la calidad de fabricación de estos equipos, es necesario que las siguientes pruebas sean efectuadas en fábrica, conforme la norma IEC-831:

Medición de capacitancia nominal por fase

Medición de pérdidas

Tensión aplicada entre terminales

Tensión aplicada entre terminales y masa

Resistencia de aislamiento

Inspección visual y de dimensiones

7.3 De los Reactores

Trifásicos, del tipo seco, núcleo de aire, refrigeración natural, servicio continuo, encapsulamiento en resina epóxica, tratamiento superficial y/o pintura

en todas las partes susceptibles a corrosión, conectores con tratamiento superficial de estaño.

Las distancias mínimas entre los reactores y las estructuras metálicas son calculadas rigurosamente para evitar inducción mutua y circuitos magnéticos cerrados, evitándose de esta forma pérdidas por efecto Foucault.

Características adicionales:

Inductancia por fase	: 215 +/- 3% micro Henrios
Impedancia nominal	: 0,081 Ohmios, 60 Hz
Corriente nominal	: 165 A rms, 60 Hz
Corriente de corto circuito	: 4,70 kA (simétrica) por 1segundo
Corriente de corto circuito dinámica	: 12 kA
Pérdidas por fase	: Máximo 170W con 165 A y 75°C
Temperatura de Operación	: Máximo 80°C
Tensión nominal	: 600 Vac, 60 Hz
Frecuencia nominal	: 60 Hz
Nivel de aislamiento	: 3 kV a 60 Hz, durante 1 minuto.
Nivel de impulso	: 30 kVp
Factor de calidad	: Mínimo 30 medido a 300 Hz y temperatura de 75°C

Dada la importancia de la calidad de fabricación de estos equipos, es

necesario que las siguientes pruebas sean efectuadas en fábrica, conforme la norma IEC-289:

Medición de la inductancia nominal por fase

Medición de la resistencia del bobinado por fase

Medición de pérdidas

Medición del factor de calidad en 300 Hz (quinto armónico).

Tensión aplicada entre terminales

Tensión aplicada entre terminales y masa

Resistencia de aislamiento

Elevación de temperatura

Inspección visual y de dimensiones

7.4 Del Seccionador

Seccionadores tripolares para apertura sin carga, con las siguientes características eléctricas:

Corriente nominal	: 250 Amperios
Tensión nominal	: 600 V, 60 Hz
Tensión de aislamiento	: 3 kV
Corriente de corto circuito	: 7 kA rms a 60 Hz durante 1 segundo

7.5 De los Fusibles

Fusibles de alta capacidad de ruptura, con característica de fusión retardada para evitar fusiones innecesarias con las sobrecorrientes transitorias de arranque, curva característica de operación gL-gC, según IEC-269.

Corriente nominal	: 200 Amperios
Tensión nominal	: Hasta 500 V rms,
Frecuencia	: 60 Hz
Capacidad de interrupción	: 100 kA rms
Tensión de aislamiento	: 1 kV

Adicionalmente los portafusibles poseen micro switch para la activación de una alarma luminosa y de la luz indicadora de fusión del fusible, permitiendo así su fácil identificación para reemplazo.

7.6 De los Contactores

Contactor magnético tripolar, con 2 contactos auxiliares normalmente abiertos y 2 contactos normalmente cerrados, categoría de uso AC-3 según norma IEC-947.

Las siguientes características adicionales deben ser contempladas:

Tensión de la bobina	: 220 V, 60 Hz.
Corriente nominal	: 220 Amperios
Tensión nominal	: Hasta 500 V
Frecuencia	: 60 Hz
Tensión de aislamiento	: 1 kV
Número de operaciones eléctricas	: 1 Millón
Número de operaciones mecánicas	: 5 Millones

7.7 De los Conductores

Conductor cableado con hilos de cobre electrolítico de temple blando, aislamiento de PVC no propagante de la llama y auto-extinguible.

Temperatura de operación	: 90°C, 750 V
Color	: Negro
Sección nominal	: 95 mm²
Corriente nominal	: 223 Amperios
Tensión nominal	: 750 V, 60 Hz

Para la manufactura del conductor deberá tomarse en cuenta el cumplimiento de las normas ASTM B 2 6 ANSI C 8-35.

7.8 De los Ventiladores

Tensión nominal	: 220 V rms
Frecuencia	: 60 Hz
Corriente nominal	: 80 mA
Potencia de consumo	: Máximo 12 W
Velocidad de rotación	: 3600 R.P.M.
Flujo de aire	: 86 m³/h
Presión estática máxima	: 7 mm de columna de agua
Cantidad por gabinete	: Dos unidades, uno ubicado en el frente y otro en la parte posterior del gabinete.
Termostato de Accionamiento	: Del tipo de bulbo gaseoso con rango de regulación de 30°C a 110°C.
Carcasa	: Aluminio ú algún otro material metálico liviano

Hélice	: Fibra de vidrio
Cojinetes	: Rodamientos libres de labor de mantenimiento.
Aislamiento Térmico	: 155°C
Peso	: No mayor de 600 g.
Nivel de ruido	: 52 dB.
Vida útil	: 20 000 horas

7.9 Del Gabinete

Gabinete metálico del tipo autosoportado fabricado con Plancha de Fierro LAF de 2 mm de espesor, grado de protección IP-54, sometido a tratamiento anticorrosivo de fosfatizado por inmersión en caliente para garantizar una adecuada adherencia de la pintura y evitar efectos corrosivos, pintado exterior e interior de preferencia con resina de poliéster epoxi color gris claro aplicado electrostáticamente.

Las dimensiones máximas de los gabinetes a ser consideradas en su fabricación se indican en los planos de diseño.

7.10 Del Regulador de Factor de Potencia

Regulador de factor de potencia basado en microprocesador, adecuado para empotrar en gabinete, con cubierta de plástico de ingeniería y teclado de control y programación superficial, los terminales de conexión serán adecuados para evitar contacto accidental con partes energizadas.

Además debe cumplir como mínimo las siguientes características de operación:

- Operación en modo manual o automático
- Secuencia de pasos programable. Esto permite que pueda elegirse el más adecuado a las características de operación del sistema, de forma que a parte de tener una curva de operación característica del filtro adecuado a los requerimientos del sistema, también se pueda alcanzar un envejecimiento uniforme de los contactores.
- Indicación de factor de potencia, kVAR, Corriente del filtro, tensión y kVA en el display del equipo.
- Monitoreo continuo de las ondas armónicas presentes en el sistema eléctrico.
- 12 contactos de salida para el control de cada paso del filtro de armónicos con led de indicación de los pasos conectados.
- Selección automática de los pasos necesarios
- Detección de sobre y sub tensión
- Detección de tensión cero
- Alarma de indicación si el factor de potencia requerido no puede ser alcanzado.
- Programación de los niveles de armónicos aceptables, lo cual permite evitar la resonancia en el sistema, esto es, el equipo posee capacidad de discriminar con precisión si el contenido de armónicos existente en el sistema supera al límite previamente programado, procediendo a desconectar los pasos del filtro para evitar daños en los equipos.

- Las características eléctricas de operación requeridas por el equipo son las siguientes:

Tensión de alimentación	: 220 V
Frecuencia	: 60 Hz
Tensión de medición	: Hasta 500V entre 45 a 60Hz
Corriente nominal con Cts	: 5 A
Consumo entre terminales de tensión	: 15 VA máximo
Consumo entre terminales de corriente	: 1 VA máximo
Temperatura ambiente	: -10 a 45°C

CAPÍTULO VIII METRADO DE LOS FILTROS

8.1 Leyenda del Metrado

En este capítulo se muestra el listado completo de equipos que componen cada uno de los filtros de armónicos TR-1, TR-2 y TR-3.

En la tabla adjunta se indica a manera de leyenda la información contenida en el listado completo de equipos:

Tabla XIV

Leyenda del Metrado

ITM	TR-1, TR-2, TR-3	DESCRIPCIÓN
Número de ítem	Los recuadros en estas columnas tienen la siguiente información en dos líneas: Primera Línea: Cantidad de cada componente en el filtro en referencia <i>Segunda línea : nomenclatura utilizada en los planos de cada filtro para identificar sus componentes.</i>	Descripción resumida de cada componente

8.2 Listado completo de equipos y accesorios de cada uno de los filtros de armónicos

Tabla XV

**Lístando completo de equipos y accesorios
de cada uno de los filtros de armónicos TR-1, TR-2 y TR-3**

ITM	TR-1 Filtro 1	TR-2 Filtro 2	TR-3 Filtro 3	DESCRIPCIÓN
1	08 C1-C8	07 C1-C7	10 C1-C10	Condensador de potencia trifásico, 104 kVAR, 458 V, 60 Hz, conectado en delta.
2	08 Cm1-Cm8	07 Cm1-Cm7	10 Cm1-Cm10	Contactador trifásico, 220 A, 500 V, 60 Hz, tensión de control 220 V, 60 Hz, 2NA + 2 NC.
3	08 Ca1-Ca8	07 Ca1-Ca7	10 Ca1-Ca10	Contactador auxiliar, 10 A, 500 V, 60 Hz, tensión de control 220 V, 60 Hz, 2NA + 2 NC.
4	08 S1-S8	07 S1-S7	10 S1-S10	Seccionador tripolar para apertura sin carga,, 250 A, 600 V, 50-60 Hz
5	01 S13	01 S13	01 S13	Conmutador de 3 posiciones "Auto-Off-Manual", diámetro 22,5mm, 3NA+3NC, 10A, 250V, 60 Hz
6	01 S14	01 S14	01 S14	Pulsador de emergencia giratorio tipo hongo, color rojo, diámetro 22,5mm, 2NC, 10A, 250V, 60 Hz
7	08 S15-S22	07 S15-S21	10 S15-S24	Pulsador de 2 posiciones, para conectar los pasos en modo manual, 2NA, 10A, 220V, 60 Hz
8	24 F1-F8	21 F1-F7	30 F1-F10	Fusible limitador, 200A, 500V, 50-60Hz, 120 kA, curva tipo gL-gC.
9	01 F9	01 F8	01 F11	Fusible limitador tipo Diazed, 2A, 500V, 50-60Hz, 70kA, curva tipo gL-gC.
10	02 F10-F11	02 F9-F10	02 F12-F13	Fusible limitador tipo Diazed, 10A, 500V, 50-60Hz, 70kA, curva tipo gL-gC.

ITM	TR-1 Filtro 1	TR-2 Filtro 2	TR-3 Filtro 3	DESCRIPCIÓN
11	02 F12-F13	02 F11-F12	02 F14-F15	Fusible limitador tipo Diazed, 6A,500V, 50-60Hz, 70kA, curva tipo gL-gC.
12	01 RFP	01 RFP	01 RFP	Regulador de factor de potencia basado en microprocesador , 144 x 144 mm, display LCD, 500V, 45-60Hz, 5A con Cts, control de resonancia.
13	08 T1-T8	07 T1-T7	10 T1-T10	Termostato calefactor, 16A, 380 V, 50 - 60Hz, escala de 30 - 110°C.
14	16 V1-V16	14 V1-V14	20 V1-V20	Ventilador micro extractor 86m ³ /h, 12 W, 220 V, 50 - 60 Hz.
15	08 L1-L8	07 L1-L7	10 L1-L10	Reactor trifásico con núcleo de aire, tipo seco, refrigeración natural, servicio continuo, uso interior, 215 micro Henrios +/-3% por fase, 165A, 600V, 60 Hz, 3kV/60Hz/60s aislamiento, 30kVp BIL, factor de calidad mínimo 30 a 300 Hz/75°C.
16	01 TP	01 TP	01 TP	Transformador de tensión para control, tipo seco, 1kVA, 440-220V, 60Hz, 105°C.
17	--	--	--	Conductor flexible para circuito de control, tipo TW, color negro, 0,75mm ² , 750V, 70°C
18	--	--	--	Conductor flexible para circuito de control, tipo TW, color negro, 1,5mm ² , 750V, 70°C
19	--	--	--	Conductor flexible para circuito de control, tipo TW, color negro, 2,5mm ² , 750V, 70°C
20	--	--	--	Conductor flexible para circuito de tierra, tipo TW, color verde, 16mm ² , 750V, 70°C

ITM	TR-1 Filtro 1	TR-2 Filtro 2	TR-3 Filtro 3	DESCRIPCIÓN
21	--	--	--	Conductor flexible para circuito de fuerza, tipo THW, color negro, 95mm ² , 750V, 70°C
22	02	02	02	Grapa de presión fabricado de bronce forjado para conductor de toma de tierra de 25 a 70 mm ²
23	--	--	--	Barras principales fabricado con pletinas de cobre electrolítico estañadas de 25,4 x 6,35 mm
24	--	--	--	Empalme para barras principales fabricado con pletinas de cobre electrolítico estañadas de 31,75 x 6,35 mm
25	--	--	--	Barras para toma de tierra fabricado con pletinas de cobre electrolítico estañadas de 25,4 x 6,35 mm
26	04 Z1-Z4	04 Z1-Z4	04 Z1-Z4	Block terminal de poliamida para cables de control de hasta 6 mm ² , 44 A, 750 V, 50-60 Hz
27	92 Z5-Z96	82 Z5-Z86	105 Z5-Z109	Block terminal de poliamida para cables de control de hasta 1,5mm ² , 26 A, 250 V, 50-60 Hz
28	01 Zt	01 Zt	01 Zt	Block de poliamida para conexión a tierra de equipos de control hasta 2,5mm ² , 44 A, 750 V, 50-60 Hz
29	01 Zs	01 Zs	01 Zs	Block terminal de poliamida para conexión al transformador de corriente con conductor de hasta 6mm ² .
30	08 H1-H8	07 H1-H7	10 H1-H10	Indicador luminoso 220V, 60 Hz, indica paso conectado.
31	08	07	10	Seguro de puerta con llave y manija

ITM	TR-1 Filtro 1	TR-2 Filtro 2	TR-3 Filtro 3	DESCRIPCIÓN
32	03 LFR LFS LFT	03 LFR LFS LFT	03 LFR LFS LFT	Indicador luminoso 220V, 60 Hz, indica la fase en la que un fusible de uno de los pasos se ha fundido.
33	24 LF1-LF8	21 LF1-LF7	30 LF1-LF10	Indicadores luminosos, uno por fase, 220V, 60 Hz, indica cual fusible se ha fundido.

CAPÍTULO IX ANÁLISIS ECONÓMICO

9.1 Costo de la energía reactiva

Por ser considerado el sistema eléctrico de la fábrica de papel un cliente libre de la empresa de distribución eléctrica, entonces tiene un tratamiento especial en cuanto se refiere al régimen tarifario, el cual es obtenido de mutuo acuerdo entre ambas empresas.

Según el contrato firmado entre la fábrica y la empresa de distribución eléctrica se factura todo el consumo de energía reactiva si es que este consumo excede al 30% de la energía activa consumida en el mes. En este caso no es válido el concepto general de pago por el cual solo se paga por el exceso de energía reactiva consumida sobre el 30% de la energía activa del mismo período.

Los beneficios tarifarios afectan principalmente el costo de la energía activa, es decir, el costo de energía activa para los clientes libres es usualmente menor que el aplicado a los clientes industriales del suministrador. El costo de la energía activa está sujeto a la negociación entre el cliente libre y el proveedor del servicio de electricidad.

De acuerdo con la estructura de precios de energía reactiva de la empresa de distribución de energía eléctrica de la jurisdicción, el costo para la

fábrica de papel es el siguiente:

Cargo por energía reactiva : 4,99 Ctm.S/./kvarh

9.2 Facturación por consumo de energía reactiva

La fábrica consumió durante un año entre 1996 y 1997 un promedio mensual de energía reactiva de 2 443 897,43 kvar-h, con lo cual el pago por este concepto ascendería a:

Costo de Energía Reactiva mensual : 121 950,48 Nuevos soles

Costo total de Energía Reactiva mensual: US \$ 43 244,85 + IGV.

(Tipo de cambio promedio en 1997: 2.82 S/. Por 1 US\$)

9.3 Costo del estudio y equipamiento del sistema de compensación reactiva

El fabricante de los tres filtros de armónicos y los capacitores para el TR-4 con mejor precio, cotizó el conjunto en condición F.O.B. - PuertoBrasileño:

Costo total F.O.B. : US \$ 231 000,00

Costo de los equipos instalados : US \$ 322 818,00

Costo del estudio : US\$ 17 000,00

Costo del montaje, puesta en servicio y pruebas: US\$ 33 000,00

Costo total del proyecto (Incl. IGV) : US\$ 439 925,10

9.4 Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y del Valor Actual Neto (VAN)

Consideraciones iniciales:

Periodo de vida del equipamiento : 10 años mínimo

Necesidad de repotenciamiento o modernización: Prácticamente ninguna

Costo total del equipamiento	: US \$ 380 925,10
Forma de pago	:- Carta de Crédito por el monto F.O.B. pagadera a la presentación de los documentos de embarque. - Cancelación de saldo con la puesta en servicio de los equipos.
Tiempo de entrega	: F.O.B. 90 días de confirmada la carta de crédito. Instalación y puesta en servicio 30 días.
Gastos de la carta de crédito	: Total 3% del monto F.O.B..
Pago a la apertura de la CC	: 10% del monto F.O.B.
Costo de capital con crédito local	: 14% anual en US\$
No pago de energía reactiva	: US \$ 53 471,90 mensual (Inc IGV)
Máximo período de recuperación exigido por el propietario:	01 año, después de la entrega del equipo en condición F.O.B., es decir al pago del 90% del costo F.O.B.
Cuadro de flujo de capital del proyecto:	

Tabla XVI
Flujo de capital del proyecto

Período	Concepto	Monto en US\$
0	Pago gastos de CC y 10%F.O.B.	-30 030,00
1	Fabricación de los equipos	0
2	Fabricación de los equipos	0
3	Pago del 90%F.O.B. al embarque de los equipos	-207 900,00
4	Cancelación del saldo	-208 925,10
5	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
6	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
7	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
8	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
9	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
10	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
11	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
12	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
13	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
14	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92
15	Ingreso por no pago de energía reactiva al suministrador de E.E.	51 028,92

Por tanto, los índices de evaluación financiera son:

TIR del proyecto : Tasa de interés anual de 42,30% en US\$

VAN del proyecto : US \$ 69 907,39

CAPÍTULO X

MEDICIÓN DE ARMÓNICOS DESPUÉS DE LA INSTALACIÓN DEL FILTRO

10.1 Resumen de Resultados

Los siguientes son los resultados obtenidos al medir el nivel de armónicos en cada uno de los alimentadores del sistema eléctrico, luego de la instalación y puesta en servicio del filtro de 1000 kVAR, 440V, 60Hz en el alimentador TR-3.

Barras de TR-1, 440 V	: 12%
Barras de TR-2, 440 V	: 4,65%
Barras de TR-3, 440 V	: 4,52%
Barras de TR-4, 440 V	: 4,35 (sin capacitores) 6,22 % (con capacitores conectados)

Las distorsiones de corriente medidas fueron:

a.- TR-1 Distorsión total de corriente	: 18 %
b.- TR-2 Distorsión total de corriente	: 9,50 %
c.- TR-3 Distorsión total de corriente	: 6,30 %
d.- TR-4 Distorsión total de corriente	: 5,50 %

CONCLUSIONES

- Con la instalación del filtro de armónicos se reduce el nivel de distorsión de armónicos, con lo cual se atenúan los efectos debidos a los armónicos. Si bien el filtro no hace posible la eliminación completa del quinto armónico es debido a que después de realizados los estudios, el propietario de la fábrica con la intención de disminuir el nivel de armónicos en los alimentadores TR-2 y TR-4, trasladó cargas no lineales a los alimentadores TR-1 y TR-3.
- Se mejora la calidad de la energía eléctrica por la disminución de la presencia de armónicos y por mejorar el perfil de tensiones del sistema.
- Se consigue disminuir el sobre calentamiento y la sobre carga del transformador de potencia y alimentador TR-3 debido a la disminución de la corriente, ya que la energía reactiva al ser suministrada por el filtro ya no circula por el transformador TR-3, así como desaparece el efecto del quinto armónico.
- Se logra compensar la necesaria energía reactiva del sistema sin riesgo de resonancia.
- Debe mantenerse conectado el filtro con sus diez pasos conectados permanentemente al sistema, es decir no operar como filtro automático mientras no se instalen los demás filtros en TR-1 y TR-2, esto permitirá evitar que en algún momento puedan dañarse los pocos pasos conectados del filtro por

sobrecarga.

- Aún cuando la evaluación económica no se ha llevado a cabo considerando la vida útil de los equipos, que es de 10 años, sino únicamente por 15 meses, de acuerdo al pedido de los propietarios, el resultado es satisfactorio para la inversión. Por tanto, se concluye que el proyecto de compensación reactiva resulta favorable.

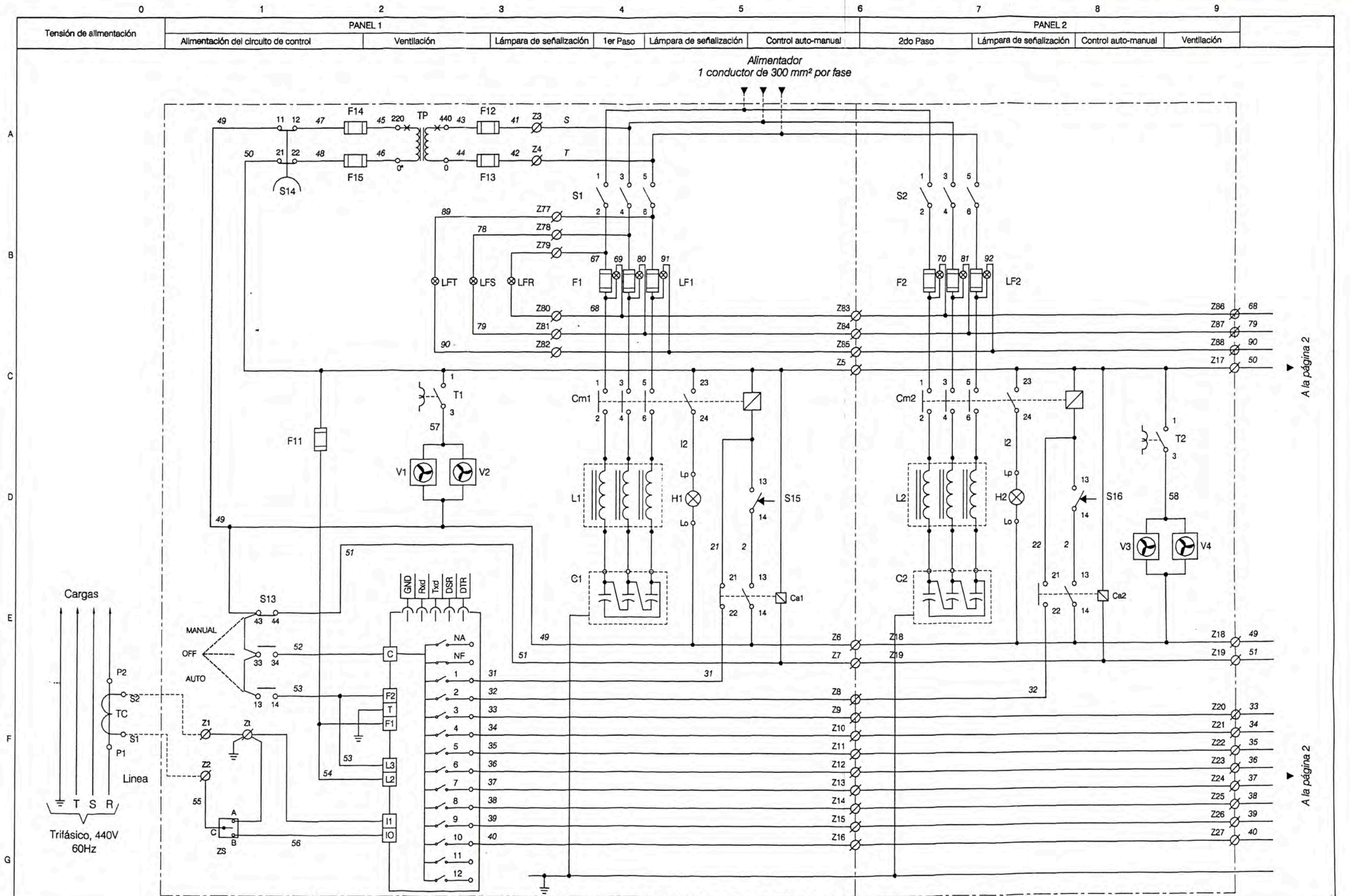
- La tasa interna de retorno del proyecto es superior a las tasas bancarias que pueden obtenerse en el sistema financiero peruano, evidenciando que se trata de un proyecto rentable.

- El valor actual neto resulta positivo, aún cuando se considera un costo de capital alto. El VAN resulta prácticamente el 16% de la inversión inicial, lo cual es muy favorable. El valor del VAN puede incrementarse si se considera que el valor del IGV (18% del costo total) se encuentra incluido en el monto inversión inicial y que este valor puede ser usado por el propietario como crédito fiscal.

- El proyecto resulta por tanto técnica y económicamente viable, y prácticamente no presenta riesgo para la inversión.

- Este proyecto puede permitir una mejor posición en la negociación de tarifas más favorable para la fábrica, pues consigue mejorar la calidad del servicio de electricidad. Así la empresa de distribución, que está obligada a brindar un servicio de calidad a los usuarios en general, no tendrá que efectuar futuras inversiones para mejorar el servicio en la jurisdicción de la fábrica.

ANEXO A
PLANOS Y DIAGRAMAS



A la página 2

A la página 2

REVISIONS	DESIGN			SUPERVISION			APROVAL			INFORME DE INGENIERIA			TITLE:			
	N E. Trinidad			N E. Trinidad			N E. Trinidad			SCALE: S/E			FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN 1000KVAR, 440V, 60Hz			
Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.	18/03/99	18/03/99	18/03/99				DWG. Nº: DEF-9901			SH: OF 1 / 5		

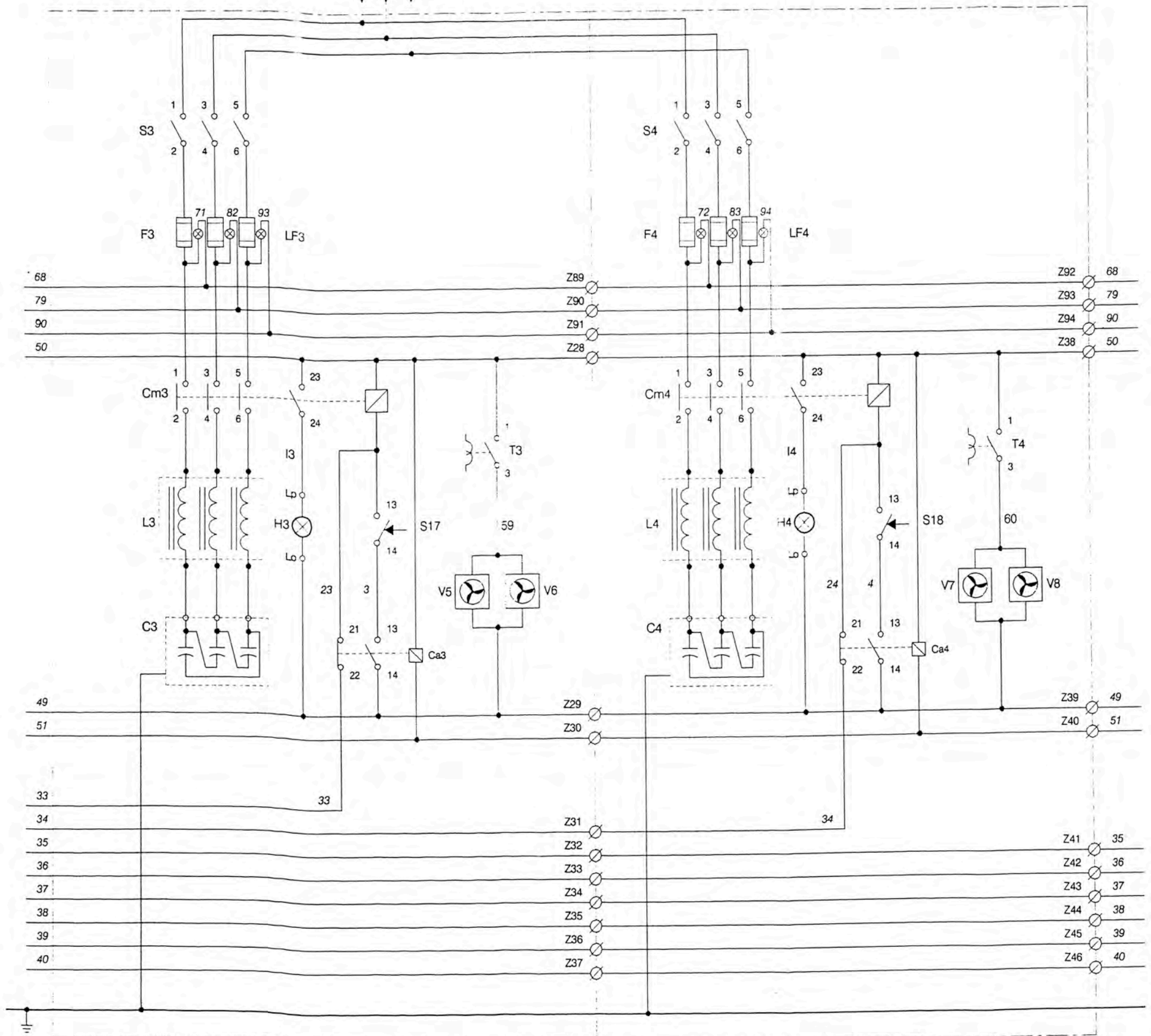
Alimentador
1 conductor de 300 mm² por fase

De la página 1

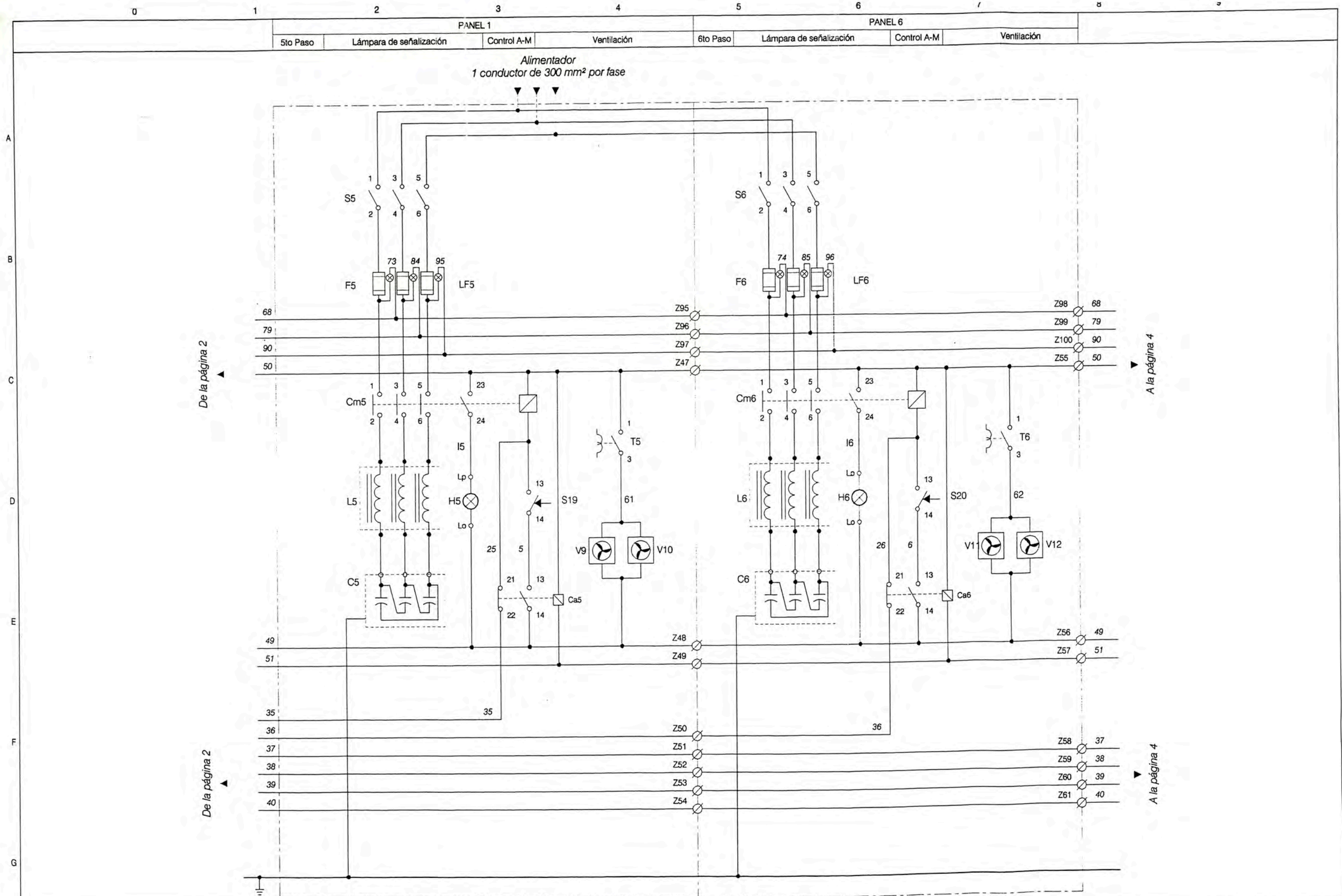
De la página 1

A la página 3

A la página 3



REVISIONS		DESIGN	SUPERVISION	APROVAL	INFORME DE INGENIERIA	TITLE:	
		N E. Trinidad	N E. Trinidad	N E. Trinidad	SCALE:	FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN	DWG. Nº
Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.	S/E	1000kVAR, 440V, 60Hz	SH: OF
		D 18/03/99	D 18/03/99	D 18/03/99			DEF-9901
							2 / 5



REVISIONS	DESIGN			SUPERVISION			APROVAL			INFORME DE INGENIERIA			TITLE:					
	Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.	N E. Trinidad	N E. Trinidad	N E. Trinidad	SCALE:	S/E			FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN 1000kVAR, 440V, 60Hz					
										D 18/03/99			D 18/03/99			D 18/03/99		
												DWG. Nº		SH: OF				
												DEF-9901		3 / 5				

Tensión principal

PANEL 7

PANEL 8

7mo Paso

Lámpara de señalización

Control A-M

Ventilación

8vo Paso

Lámpara de señalización

Control A-M

Ventilación

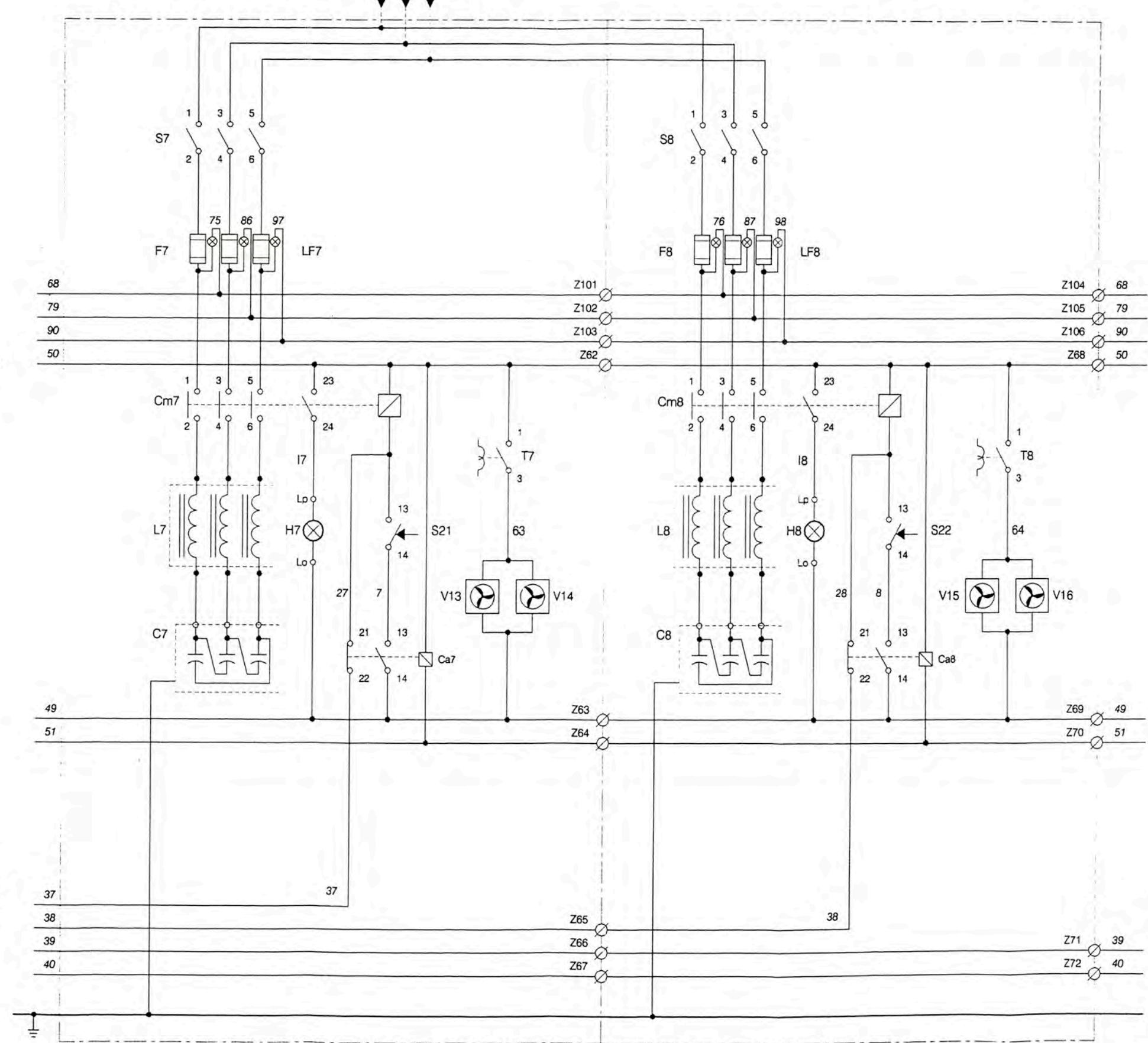
Alimentador
1 conductor de 300 mm² por fase

De la página 3

A la página 5

De la página 3

A la página 5



REVISIONS	DESIGN			SUPERVISION			APROVAL			INFORME DE INGENIERIA			TITLE:						
	Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.	Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.	Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.	SCALE:	FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN 1000KVAR, 440V, 60Hz	DWG. Nº	SH: OF
						D	18/03/99	D	E. Trinidad	D	18/03/99	D	18/03/99	D	E. Trinidad	S/E		DEF-9901	4 / 5

Tensión principal

F. NEL 9

PANEL 10

9no Paso

Lámpara de señalización

Control A-M

Ventilación

10mo Paso

Lámpara de señalización

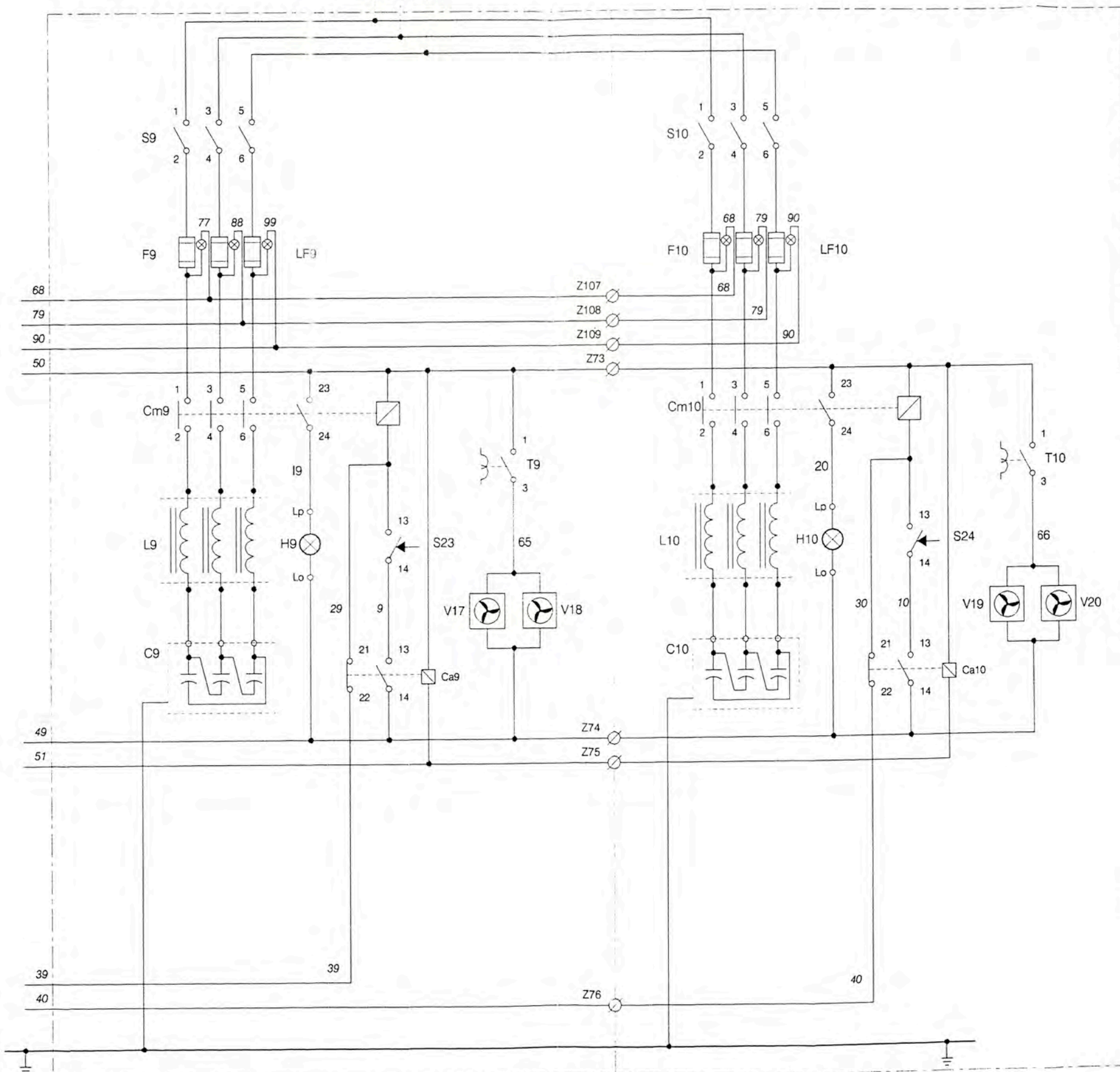
Control A-M

Ventilación

Alimentador
1 conductor de 300 mm² por fase

De la página 4

De la página 4



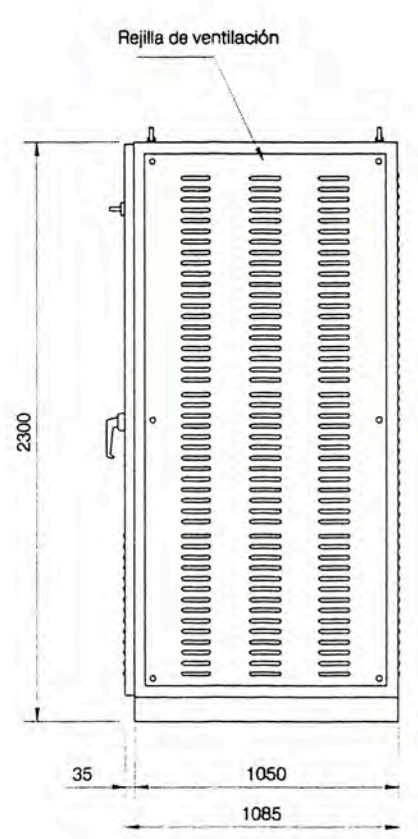
Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.	DESIGN	SUPERVISION	APROVAL
					N E. Trinidad	N E. Trinidad	N E. Trinidad
		18/03/99			D 18/03/99	D 18/03/99	D 18/03/99

INFORME DE INGENIERIA
SCALE: S/E

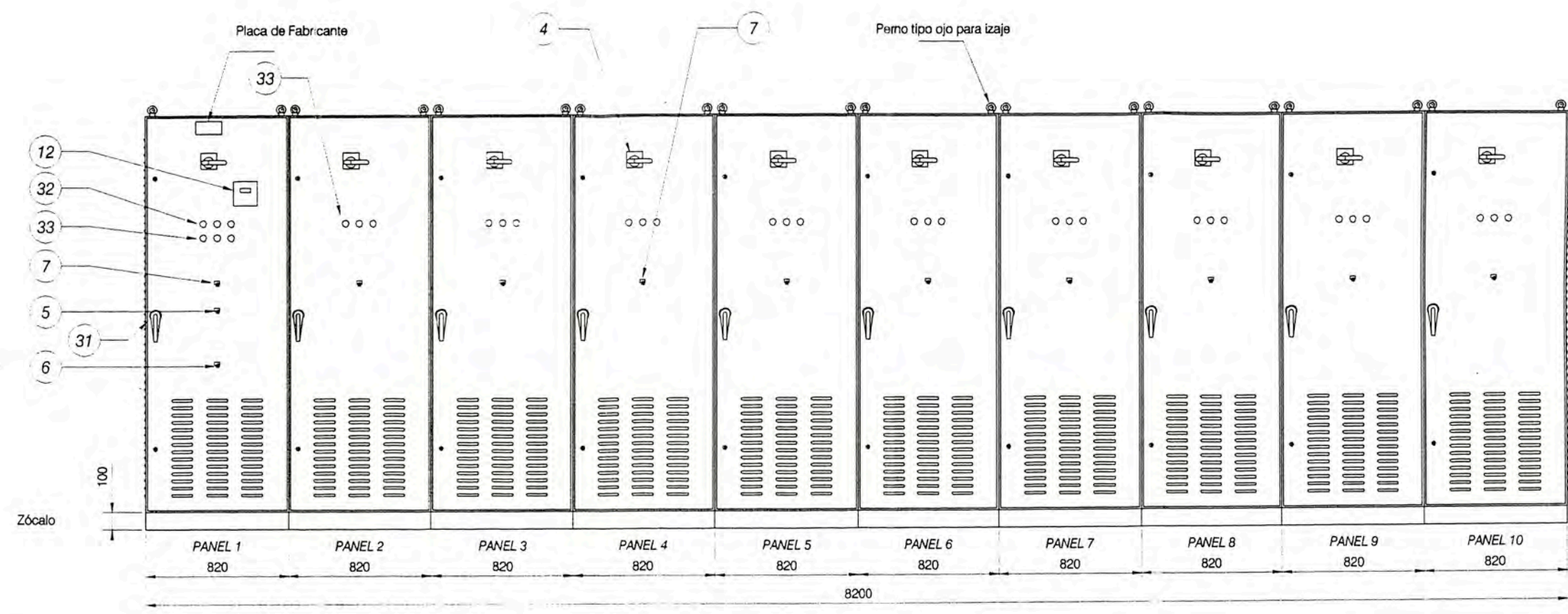
TITLE:
FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN 1000kVAR, 440V, 60Hz

DWG. Nº:	SH: OF
DEF-9901	5 / 5

A
B
C
D
E
F
G



VISTA DE PERFIL CON CUBIERTA



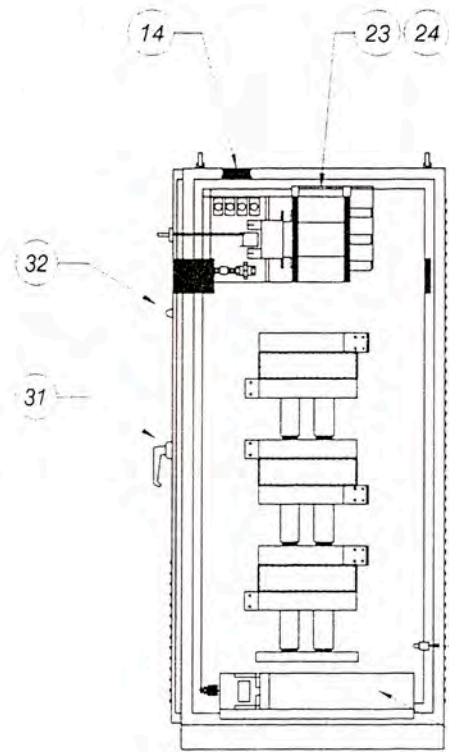
VISTA FRONTAL CON PUERTAS

DETALLES

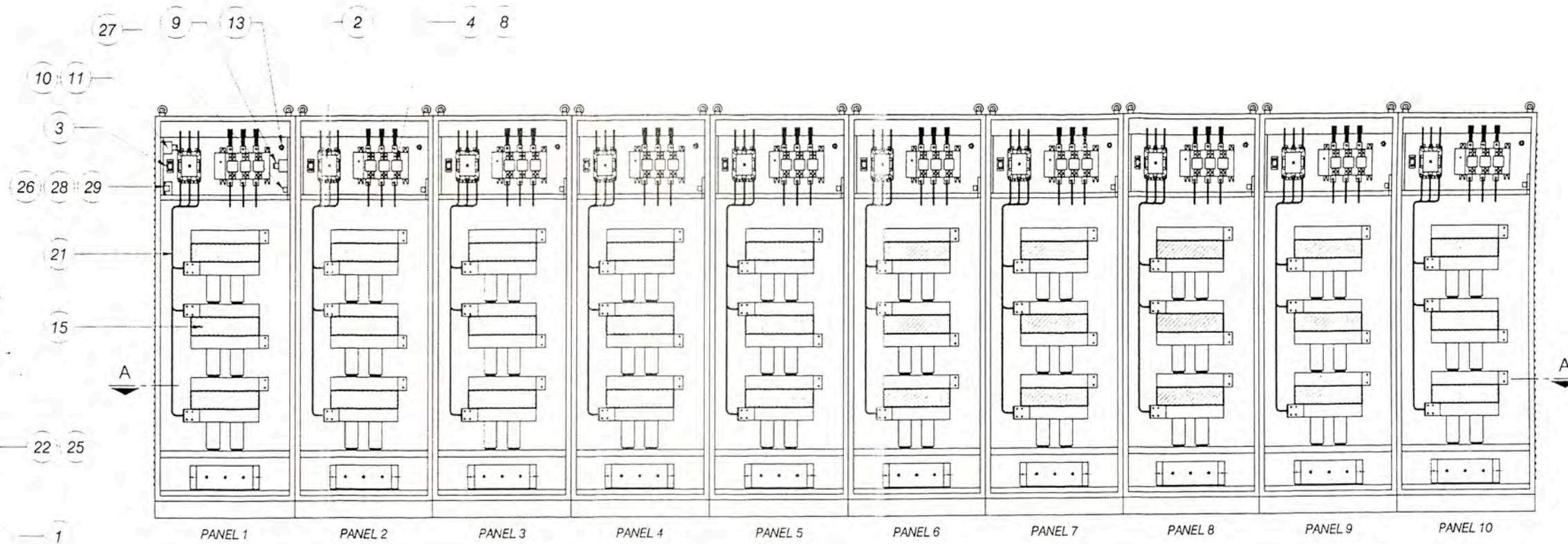
- 1) Para información sobre los componentes internos, ver lista de equipamiento en el Cap. VIII
- 2) BARRAS:
 - 2.1 - Acabado con estaño
 - 2.2 - Colores: Las barras serán pintadas con los sgtes. colores:
Fase R: Verde
Fase S: Blanco
Fase T: Rojo
Tierra: Amarillo
- 3) PESOS:
 - Para cada panel completo 390 kg.
 - Para todo el filtro 3900 kg.

- 4) PANELES:
 - 4.1 - Material: Lamina de acero de 2.65 mm. de espesor para la estructura. Lamina de acero de 1.89 mm. para cubierta
 - 4.2 - Tratamiento anticorrosivo fosfatizado por inmersión en caliente y pintado con resina de poliester epoxy color gris aplicado electrostáticamente
 - 4.3 - Construcción modular para uso interno
 - 4.4 - Seguro de puerta con manija y llave
- 5) ENTRADA DE CABLES:
 - Desde abajo
- 6) Dimensiones indicadas en mm.
- 7) Mínima distancia deseable desde la base de los paneles hasta las paredes adyacentes = 700mm.

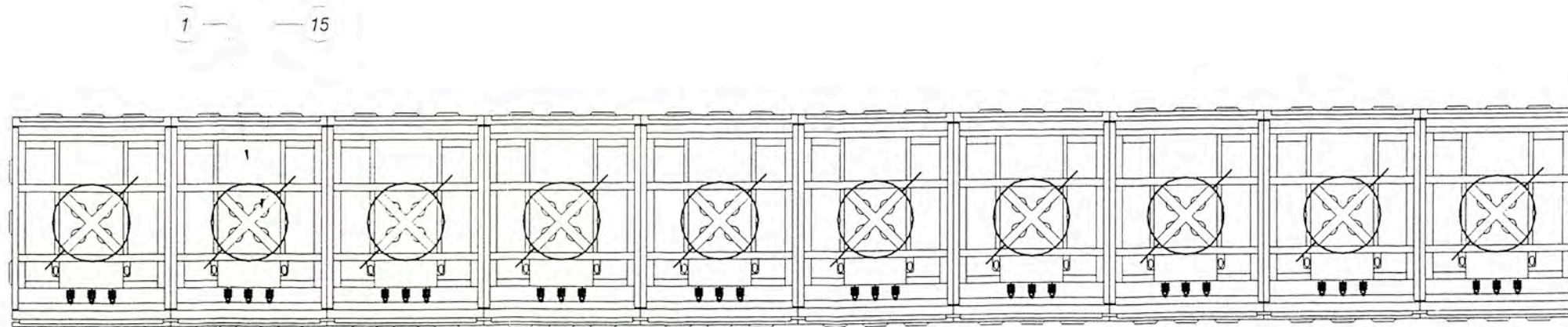
REVISIONS					DESIGN	SUPERVISION	APROVAL	INFORME DE INGENIERIA	TITLE:	
					N E. Trinidad	N E. Trinidad	N E. Trinidad	SCALE:	FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN	DWG. Nº
					D 18/03/99	D 18/03/99	D 18/03/99	S/E	1000kVAR, 440V, 60Hz	SH: OF
Nº	DESCRIPTION	DATE	NAME	SUPERV.				DMF-9901		1 / 3



VISTA DE PERFIL SIN CUBIERTA

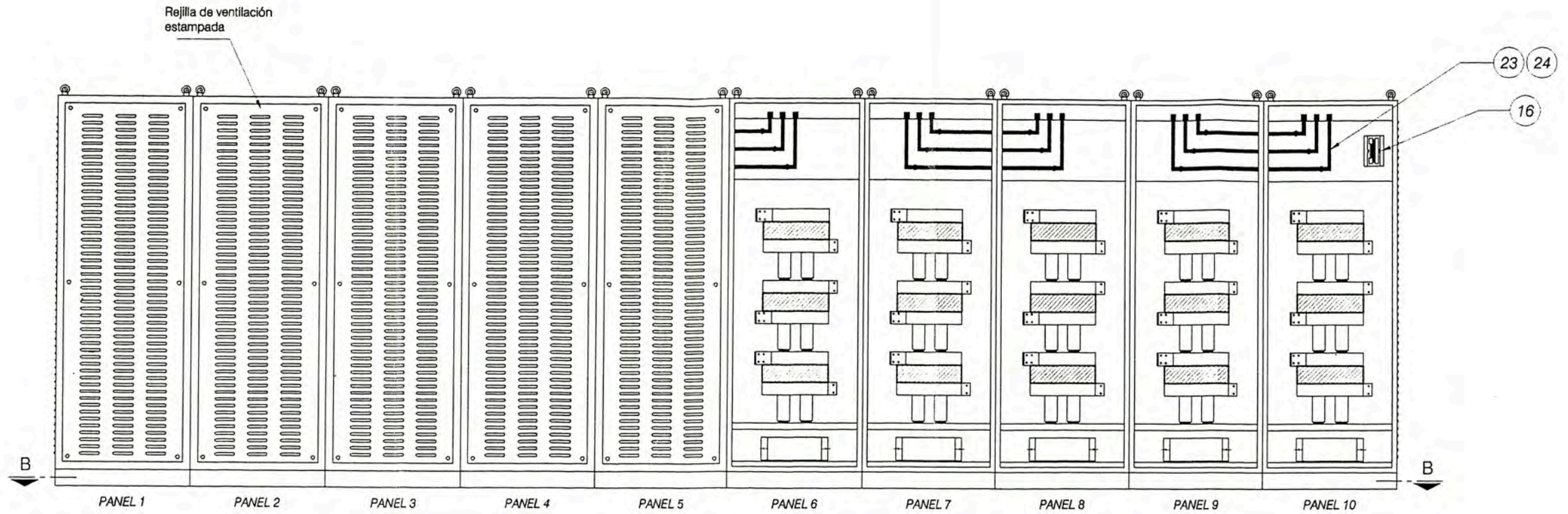


VISTA FRONTAL SIN PUERTAS

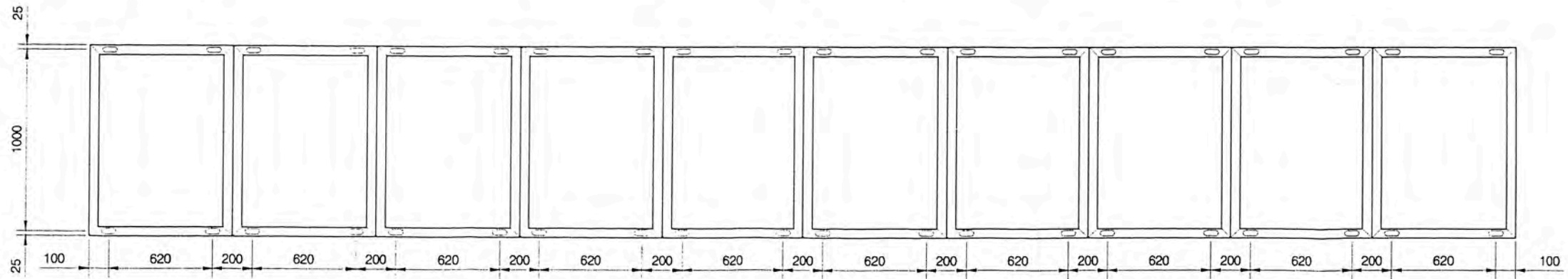


SECCION A-A

DESIGN				SUPERVISION		APROVAL		INFORME DE INGENIERIA		TITLE:	
N E. Trinidad				N E. Trinidad		N E. Trinidad		SCALE:		FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN 1000kVAR, 440V, 60Hz	
D 18/03/99				D 18/03/99		D 18/03/99		S/E		DWG. Nº DMF-9901	
DESCRIPTION			DATE	NAME	SUPERV.	SH: OF 2 / 3					



VISTA POSTERIOR
 ◀ PANELES CON CUBIERTAS - PANELES SIN CUBIERTAS ▶



SECCION B-B
 DETALLE DE FIJACION

REVISIONS	DESIGN					SUPERVISION		APROVAL		INFORME DE INGENIERIA		TITLE:			
	N E. Trinidad					N E. Trinidad		N E. Trinidad		SCALE:		FILTRO DE ARMONICOS TRIFASICO DE 5TO ORDEN		DWG. Nº	
	D 18/03/99					D 18/03/99		D 18/03/99		S/E		1000kVAR, 440V, 60Hz		SH: OF	
Nº		DESCRIPTION			DATE		NAME		SUPERV.		DMF-9901		3 / 3		

ANEXO B

PROTOCOLO DE PRUEBA DE LOS EQUIPOS PRINCIPALES



RELATÓRIO DE TESTE # 172 / 98

Cliente: INEPAR S/A – Indústria e Construções
Material: 10 reatores tipo 3xFHC-215/165
Laboratório de Teste: ER – Equipamentos Elétricos de Alta Tensão Ltda.
Nossa Referencia: ERE- 1 / 9 / 616
Ordem de Compra: 145630
Norma: IEC 289 (1988)

Tipo	3xFHC-215/165	Ordem de fabricação.....	2/43/152
Num. de Fab.....	982648 (I,C,S) a 982657 (I,C,S)	Resfriamento.....	AR
Ano.....	1998	Corrente de curto circuito térmica	4.7 kA 1s
Corrente nominal.....	131 A	Corrente de curto circuito dinâmica.....	11.99 kÂ
Indutância nominal.....	0.215 mH	Impedância nominal	81.1 mΩ
Frequência	60 Hz	Tensão nominal.....	600 V
Peso.....	81 kg	NBI	- kVp



1.0) Medição da resistência ôhmica do enrolamento em corrente contínua:

Nº. de Fab.	R_{cc} (m Ω)	T_{AMB} (°C)
982648 I	6.820	26.4
982648 C	6.660	26.4
982648 S	6.840	26.6
982649 I	6.779	21.2
982649 C	6.637	21.4
982649 S	6.761	21.3
982650 I	6.823	23.2
982650 C	6.713	23.2
982650 S	6.880	23.1
982651 I	6.678	22.9
982651 C	6.778	23.1
982651 S	6.731	23.1
982652 I	6.860	25.1
982652 C	6.913	25.0
982652 S	6.838	25.2
982653 I	6.867	26.1
982653 C	6.809	26.0
982653 S	6.999	26.6
982654 I	6.990	25.9
982654 C	6.965	26.1
982654 S	6.917	26.4
982655 I	6.811	26.6
982655 C	6.909	26.5
982655 S	6.798	26.5
982656 I	7.054	24.8
982656 C	6.842	24.8
982656 S	6.928	24.8
982657 I	6.848	23.3
982657 C	6.749	23.6
982657 S	6.806	23.5

1.1) Instrumentos utilizados nas medições:

- * Ponte (Kelvin) Thomson modelo 2222 - AG Tettex Zurich - nº de patrimônio 09074. Certificado de calibração nº 050/98 - Laboratório credenciado: Furnas.
- * Termômetros a Álcool (-10 à 150 °C).

2.0) Medição trifásica da impedância e indutância em 60 Hz, fora do cubículo:

Nº de Fab.	Tensão fase-neutro			Corrente por Fase		
	V_{lc} (V)	V_{sl} (V)	V_{sc} (V)	A_l (A)	A_c (A)	A_s (A)
982648	1.543	1.513	1.502	18.73	18.48	18.17
982649	1.616	1.597	1.585	19.72	19.47	19.34

Nº de Fab.	Tensão fase-neutro			Corrente por Fase		
	V _I (V)	V _C (V)	V _S (V)	A _I (A)	A _C (A)	A _S (A)
982650	1.624	1.595	1.597	19.71	19.46	19.32
982651	1.585	1.584	1.573	19.46	19.21	19.08
982652	1.637	1.603	1.621	19.82	19.32	19.66
982653	1.624	1.615	1.601	19.77	19.50	19.27
982654	1.631	1.622	1.596	19.89	19.61	19.35
982655	1.590	1.566	1.583	19.23	18.98	19.07
982656	1.656	1.632	1.631	19.97	19.64	19.58
982657	1.622	1.593	1.582	19.66	19.47	19.11

Nº de Fab.	REATOR INFERIOR		REATOR CENTRAL		REATOR SUPERIOR	
	Z (mΩ)	L (μH)	Z (mΩ)	L (μH)	Z (mΩ)	L (μH)
982648	82.40	218.6	81.86	217.1	82.69	219.3
982649	81.94	217.3	82.03	217.6	81.98	217.4
982650	82.39	218.6	81.98	217.4	82.64	219.2
982651	81.45	216.1	82.46	218.7	82.45	218.7
982652	82.60	219.1	82.97	220.1	82.46	218.7
982653	82.14	217.9	82.81	219.7	83.09	220.4
982654	82.02	217.6	82.70	219.4	82.47	218.8
982655	82.67	219.3	82.53	218.9	83.00	220.2
982656	82.95	220.0	83.10	220.4	83.30	221.0
982657	82.51	218.9	81.80	217.0	82.77	219.5

2.1) Formulas para cálculo de impedância e indutância trifásicas:

$$Z_I = \frac{V_I}{A_I}$$

$$Z_C = \frac{V_C}{A_C}$$

$$Z_S = \frac{V_S}{A_S}$$

$$L_I = \frac{Z_I}{(2 \times \pi \times f)}$$

$$L_C = \frac{Z_C}{(2 \times \pi \times f)}$$

$$L_S = \frac{Z_S}{(2 \times \pi \times f)}$$

Onde:

Z_I = Impedância do reator inferior.

L_I = Indutância do reator inferior.

Z_C = Impedância do reator central.

L_C = Indutância do reator central.

Z_S = Impedância do reator superior.

L_S = Indutância do reator superior.

2.2) Instrumentos utilizados nas medições:

> Sistema de medição virtual que consiste de:

Programa de Medição Trifásica versão 1.0 de 15 / 09 / 1998, desenvolvido pela ER baseado no software Labview 5.0 da National Instruments.



Placa de Aquisição de Dados ATMIO-16E1.

Condicionador de sinais SCXI-1120.

Condicionador de sinais SCXI-1102.

Cert. de calibração nº 08 / 98 – Laboratório: ER-Equipamentos Elétricos.

➤ Resistor *shunt* de 25 A / 300 mV – H & B - nº de série 2079.

Certificado de calibração de 14 de novembro de 1997 - Laboratório: H & B.

➤ Resistor *shunt* de 25 A / 300 mV – H & B - nº de série 0727.

Certificado de calibração de 21 de maio de 1998 - Laboratório: H & B.

➤ Resistor *shunt* de 25 A / 300 mV – H & B - nº de série 0728.

Certificado de calibração de 21 de maio de 1998 - Laboratório: H & B.

3.0) Medição monofásica da impedância, indutância e perdas em 60 Hz:

Nº de Fab.	V (V)	I (A)	P (W)	Z (mΩ)	T _{AMB.} (°C)
982648 I	1.679	20.55	3.37	81.72	26.4
982648 C	1.643	20.69	3.32	79.44	26.4
982648 S	1.683	20.61	3.28	81.68	26.6
982649 I	1.638	20.21	3.08	81.04	21.2
982649 C	1.616	20.40	3.16	79.18	21.4
982649 S	1.632	20.16	3.11	80.94	21.3
982650 I	1.636	20.05	3.19	81.59	23.2
982650 C	1.602	20.21	3.18	79.29	23.2
982650 S	1.553	19.04	2.83	81.58	23.1
982651 I	1.634	20.22	3.23	80.80	22.9
982651 C	1.602	20.10	3.12	79.71	23.1
982651 S	1.614	19.87	2.98	81.24	23.1
982652 I	1.643	20.09	3.20	81.79	25.1
982652 C	1.535	19.17	2.89	80.08	25.0
982652 S	1.603	19.77	2.95	81.10	25.2
982653 I	1.578	19.37	2.93	81.50	26.1
982653 C	1.549	19.41	2.90	79.80	26.0
982653 S	1.590	19.36	2.96	82.12	26.6
982654 I	1.615	19.88	3.13	81.23	25.9
982654 C	1.583	19.79	3.15	80.01	26.1
982654 S	1.548	18.97	2.75	81.58	26.4
982655 I	1.577	19.27	2.91	81.85	26.6
982655 C	1.533	19.29	2.96	79.50	26.5
982655 S	1.552	18.99	2.77	81.73	26.5
982656 I	1.574	19.18	2.93	82.05	24.8
982656 C	1.549	19.32	2.87	80.19	24.8
982656 S	1.576	19.15	2.89	82.32	24.8
982657 I	1.680	20.55	3.24	81.75	23.3
982657 C	1.605	20.33	3.17	78.93	23.6
982657 S	1.623	19.87	3.04	81.64	23.5



Nº de Fab.	L (µH)	R _{CA} (mΩ)	R _{CA 75°C} (mΩ)	Q _{75°C}	P _{75 °C} (W)
982648 I	216.0	7.97	9.10	8.93	156.2
982648 C	209.9	7.76	8.87	8.92	152.1
982648 S	215.9	7.73	8.90	9.13	152.8
982649 I	214.4	7.55	8.89	9.07	152.6
982649 C	209.2	7.59	8.87	8.89	152.2
982649 S	213.6	7.65	8.97	8.99	153.9
982650 I	215.4	7.95	9.18	8.85	157.5
982650 C	209.1	7.79	9.00	8.76	154.5
982650 S	215.7	7.80	9.08	8.94	155.9
982651 I	212.8	7.90	9.10	8.84	156.1
982651 C	210.9	7.72	8.97	8.84	154.0
982651 S	214.9	7.54	8.80	9.19	151.1
982652 I	215.5	7.92	9.11	8.93	156.4
982652 C	211.7	7.85	9.08	8.78	155.8
982652 S	214.6	7.54	8.78	9.19	150.7
982653 I	214.9	7.81	8.99	9.02	154.4
982653 C	211.0	7.71	8.89	8.93	152.6
982653 S	216.6	7.89	9.09	8.99	156.0
982654 I	214.2	7.92	9.14	8.85	156.8
982654 C	211.0	8.05	9.23	8.62	158.4
982654 S	215.1	7.65	8.87	9.16	152.2
982655 I	216.0	7.84	8.98	9.07	154.2
982655 C	210.1	7.95	9.12	8.68	156.5
982655 S	216.1	7.68	8.85	9.19	151.9
982656 I	216.8	7.96	9.23	8.85	158.3
982656 C	212.0	7.70	8.93	8.94	153.3
982656 S	217.0	7.87	9.11	9.00	156.3
982657 I	216.1	7.67	8.95	9.09	153.6
982657 C	208.5	7.67	8.91	8.82	152.9
982657 S	215.5	7.69	8.95	9.08	153.6

Valor garantido de perdas a 75°C, com corrente nominal, em 60 Hz:

Perdas a 75 °C = 170 W **Tolerância = +15 %**

3.1) Fórmulas para cálculo da impedância, indutância, fator Q e perdas a 75° C:

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$R_{CA} = \frac{P}{I^2}$$

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R_{CA}^2}}{(2 \times \pi \times f)}$$

$$R_{CA} = R_{CC} + R_{AD}$$

$$Q = \frac{(2 \times \pi \times f) \times L}{R_{CA}}$$

MS

$$R_{CC75^{\circ}C} = R_{CC_{Tamb}} \times \frac{(K + 75)}{(K + T_{AMB})}$$

$$R_{AD75^{\circ}C} = R_{AD_{Tamb}} \times \frac{(K + T_{AMB})}{(K + 75)}$$

$$R_{CA75^{\circ}C} = R_{CC75^{\circ}C} + R_{AD75^{\circ}C}$$

$$Q_{75^{\circ}C} = \frac{(2 \times \pi \times f) \times L}{R_{CA75^{\circ}C}}$$

$$P_{75^{\circ}C} = I_N^2 \times R_{CA75^{\circ}C} \text{ (com corrente nominal)}$$

Onde:

- Z = Impedância na temperatura ambiente.
L = Indutância na temperatura ambiente.
f = Freqüência de medição.
R_{CC} = Resistência de corrente contínua na temperatura ambiente.
R_{AD} = Resistência adicional na temperatura ambiente.
R_{CA} = Resistência de corrente alternada na temperatura ambiente.
Q = Fator de Qualidade.
K = 225 para a Alumínio.
R_{CC75°C} = Resistência de corrente contínua na temperatura de referência de 75°C.
R_{AD75°C} = Resistência adicional na temperatura de referência de 75°C.
R_{CA75°C} = Resistência de corrente alternada na temperatura de referência de 75°C.
Q_{75°C} = Fator de Qualidade na temperatura de referência de 75°C.
P_{75°C} = Perdas com corrente nominal, na temperatura de referência de 75°C.
T_{AMB} = Temperatura ambiente

3.2) Instrumentos utilizados nas medições:

- Sistema de medição virtual que consiste de:
 - Programa de Medição Monofásica versão 1.0 de 15 / 09 / 1998, desenvolvido pela ER baseado no *software* Labview 5.0 da National Instruments.
 - Placa de Aquisição de Dados ATMIO-16E1.
 - Condicionador de sinais SCXI-1120.
 - Condicionador de sinais SCXI-1102.
 - Cert. de calibração nº 08 / 98 – Laboratório: ER-Equipamentos Elétricos.
- Resistor *shunt* de 25 A / 300 mV – H & B - nº de série 2079.
 - Certificado de calibração de 14 de novembro de 1997 - Laboratório: H & B.
- Fonte de Potência modelo 1751 – Elgar.
- Gerador de sinal modelo AG-202A - Trio - nº de patrimônio: 09069.

4.0) Medição da indutância e do fator Q na freqüência de sintonia do filtro:

As medições da indutância e do fator Q foram efetuadas na freqüência de 300 Hz em todos os reatores.

Nº de Fab.	f (Hz)	L (mH)	Fator Q	T _{AMB} (°C)
982648 I	300	0.21233	32.31	23.0
982648 C	300	0.20600	31.75	23.0
982648 S	300	0.21253	33.98	23.0
982649 I	300	0.21145	32.22	23.0
982649 C	300	0.20572	32.06	21.0
982649 S	300	0.21089	31.19	21.0
982650 I	300	0.21239	31.63	21.0
982650 C	300	0.20630	31.75	21.0
982650 S	300	0.21316	33.66	21.0
982651 I	300	0.20994	30.93	21.0
982651 C	300	0.20693	31.37	21.0
982651 S	300	0.21207	33.90	21.0
982652 I	300	0.21233	31.98	27.0
982652 C	300	0.20826	31.08	27.0
982652 S	300	0.21169	32.95	27.0
982653 I	300	0.21106	31.65	28.0
982653 C	300	0.20805	31.40	28.0
982653 S	300	0.21365	33.28	30.0
982654 I	300	0.21050	31.05	28.0
982654 C	300	0.20795	31.68	28.0
982654 S	300	0.21172	33.68	28.0
982655 I	300	0.21200	31.92	24.0
982655 C	300	0.20723	31.34	25.0
982655 S	300	0.21303	33.67	24.0
982656 I	300	0.21327	31.26	28.0
982656 C	300	0.20894	31.19	28.0
982656 S	300	0.21328	31.28	28.0
982657 I	300	0.21267	31.90	26.0
982657 C	300	0.20573	31.15	26.0
982657 S	300	0.21250	31.40	26.0

4.1) Cálculo da resistência em corrente alternada e do Fator Q a 75°C:

As medições da resistência em corrente alternada e do fator Q foram extrapolados para a temperatura de 75° C.

Nº de Fab.	R _{CA} (mΩ)	R _{CA 75°C} (mΩ)	Q _{75°C}
982648 I	12.39	12.85	31.14
982648 C	12.23	12.66	30.67
982648 S	11.79	12.37	32.40
982649 I	12.37	12.82	31.08
982649 C	12.10	12.57	30.85
982649 S	12.75	13.15	30.22

Nº de Fab.	R _{CA} (mΩ)	R _{CA 75°C} (mΩ)	Q _{75°C}
982650 I	12.66	13.10	30.55
982650 C	12.25	12.73	30.56
982650 S	11.94	12.54	32.05
982651 I	12.79	13.16	30.07
982651 C	12.43	12.90	30.23
982651 S	11.79	12.36	32.35
982652 I	12.52	12.92	30.99
982652 C	12.63	13.03	30.12
982652 S	12.11	12.57	31.75
982653 I	12.57	12.95	30.72
982653 C	12.49	12.86	30.48
982653 S	12.10	12.57	32.04
982654 I	12.78	13.17	30.13
982654 C	12.37	12.82	30.58
982654 S	11.85	12.36	32.28
982655 I	12.52	12.94	30.87
982655 C	12.46	12.92	30.23
982655 S	11.93	12.45	32.26
982656 I	12.86	13.26	30.32
982656 C	12.63	12.99	30.31
982656 S	12.85	13.21	30.43
982657 I	12.57	12.97	30.91
982657 C	12.45	12.84	30.21
982657 S	12.76	13.11	30.55

Valor garantido de Fator de Qualidade em 300 Hz:

Fator Q ≥ 30

4.2) Fórmulas para cálculo do fator Q a 75° C:

$$R_{CA} = \frac{L \times (2 \times \pi \times f)}{Q}$$

$$R_{CA} = R_{CC} + R_{AD}$$

$$R_{CC75°C} = R_{CC_{Tamb}} \times \frac{(K + 75)}{(K + T_{AMB})}$$

$$R_{AD75°C} = R_{AD_{Tamb}} \times \frac{(K + T_{AMB})}{(K + 75)}$$

$$R_{CA75°C} = R_{CC75°C} + R_{AD75°C}$$

$$Q_{75°C} = \frac{(2 \times \pi \times f) \times L}{R_{CA75°C}}$$

Onde:

L = Indutância na temperatura ambiente.

- f = Frequência de medição.
R_{CC} = Resistência de Corrente Contínua na temperatura ambiente.
R_{AD} = Resistência Adicional na temperatura ambiente.
R_{CA} = Resistência de Corrente Alternada na temperatura ambiente.
Q = Fator de Qualidade.
K = 225 para a alumínio.
R_{CC75°C} = Resistência de Corrente Contínua na temperatura de referência de 75°C.
R_{AD75°C} = Resistência Adicional na temperatura de referência de 75°C.
R_{CA75°C} = Resistência de Corrente Alternada na temperatura de referência de 75°C.
Q_{75°C} = Fator de Qualidade na temperatura de referência de 75°C.
T_{AMB} = Temperatura ambiente

4.3) Instrumentos utilizados nas medições:

- * Ponte de Impedância Digital modelo 1689 - QuadTech - nº de Patrimônio: 09069. Certificado de Calibração nº 765/97 - Laboratório Credenciado: Furnas.
- * Termômetro a Álcool (-10 °C à 150 °C).

5.0) Cálculo da indutância trifásica na frequência de ressonância do filtro (300 Hz) a partir das medições em 60 Hz:

O valor de indutância é especificado para a frequência de ressonância do filtro, 300 Hz, com alimentação trifásica.

Baseado nas medições monofásicas e trifásicas em 60Hz, foi calculada a porcentagem de acréscimo no valor da indutância (devido ao acoplamento). Esta porcentagem é então aplicada às medições monofásicas de indutância em 300 Hz.

Veja no quadro abaixo os valores de indutância extrapolados para 300 Hz, com acoplamento trifásico:

Nº de Fab.	Porcentagem	L _{300 Hz / 3Ø} (µH)
982648 I	0.83%	214.1
982648 C	3.05%	212.3
982648 S	1.24%	215.2
982649 I	1.12%	213.8
982649 C	3.59%	213.1
982649 S	1.28%	213.6
982650 I	0.98%	214.5
982650 C	3.40%	213.3
982650 S	1.30%	215.9
982651 I	0.81%	211.6
982651 C	3.45%	214.1
982651 S	1.49%	215.2
982652 I	0.99%	214.4
982652 C	3.61%	215.8
982652 S	1.67%	215.2

Nº de Fab.	Porcentagem	$L_{300\text{ Hz}/3\phi}$ (μH)
982653 I	0.79%	212.7
982653 C	3.78%	215.9
982653 S	1.18%	216.2
982654 I	0.97%	212.5
982654 C	3.37%	214.9
982654 S	1.09%	214.0
982655 I	1.00%	214.1
982655 C	3.81%	215.1
982655 S	1.55%	216.3
982656 I	1.09%	215.6
982656 C	3.62%	216.5
982656 S	1.19%	215.8
982657 I	0.94%	214.7
982657 C	3.63%	213.2
982657 S	1.38%	215.4

Valor garantido de indutância com acoplamento trifásico, em 300 Hz:

Indutância = 215.0 μH Tolerância = -3 / +3 %

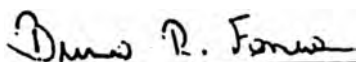
Resultado final:

Os reatores do tipo 3xFHC-215/165, números de fabricação 982648 (I,C,S) a 982657 (I,C,S) foram **APROVADOS** nos testes.

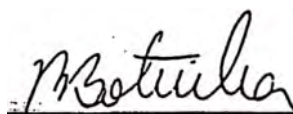
Participantes aos ensaios:

Anderson José Figueiredo - **ER-Equipamentos**
Bruno Rodrigues Fonseca - **ER-Equipamentos**
Nielson Martins Borges - **ER-Equipamentos**

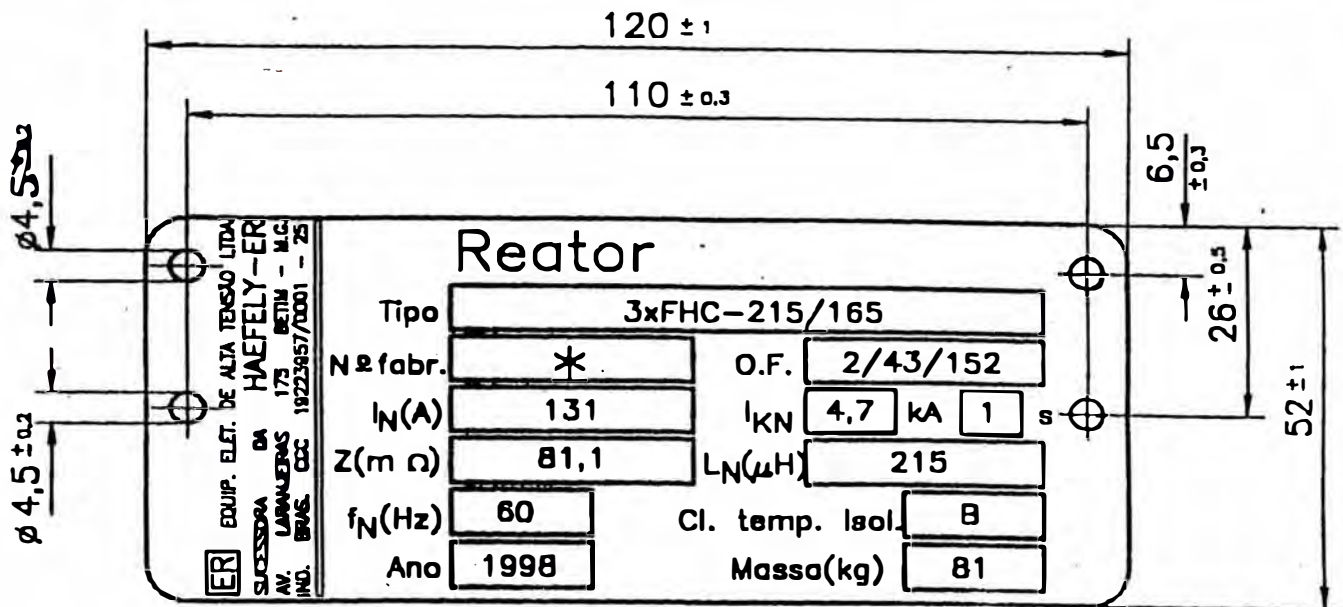
Betim, 28 de outubro de 1998



Emitido por Bruno R Fonseca



Aprovado por Renato Botinha



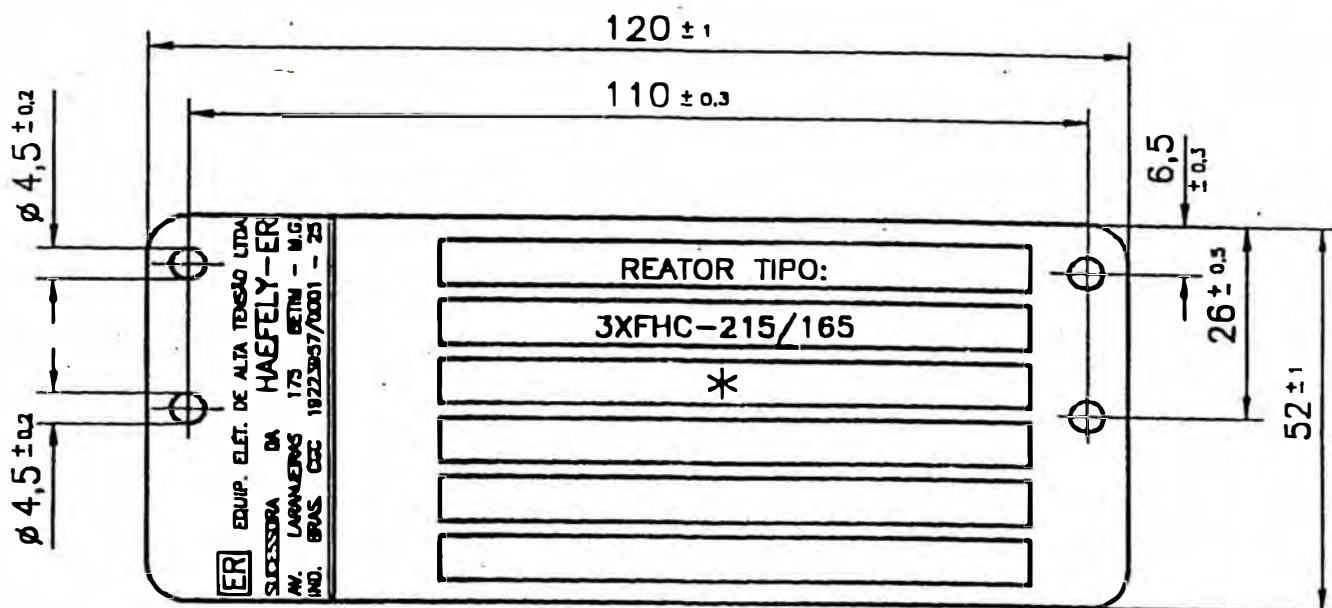
Material: Alumínio
 Espessura: 1,0mm
 Contornos dos campos e letras cor natural do alumínio anodizado
 Gravação em baixo relêvo
 Fundo de cor preta
 Dimensões em milímetros

* 982648 I - 982657 I - Bobina inferior

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	POR	VER	APR
------	------	-----------	-----	-----	-----

TÍTULO PLACA DE IDENTIFICAÇÃO	DATA	11-09-98	ER EQUIP. ELET. DE ALTA TENSÃO LTDA SUCESSORA DA HAEFELY - ER
	DESEN.	<i>[Signature]</i>	
	VERIF.	<i>[Signature]</i>	
	APROV.	<i>[Signature]</i>	

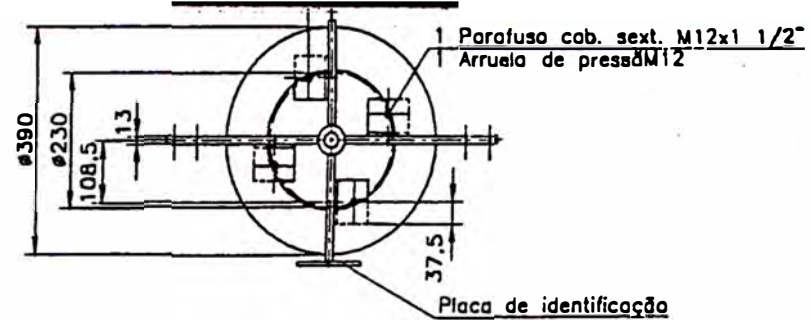
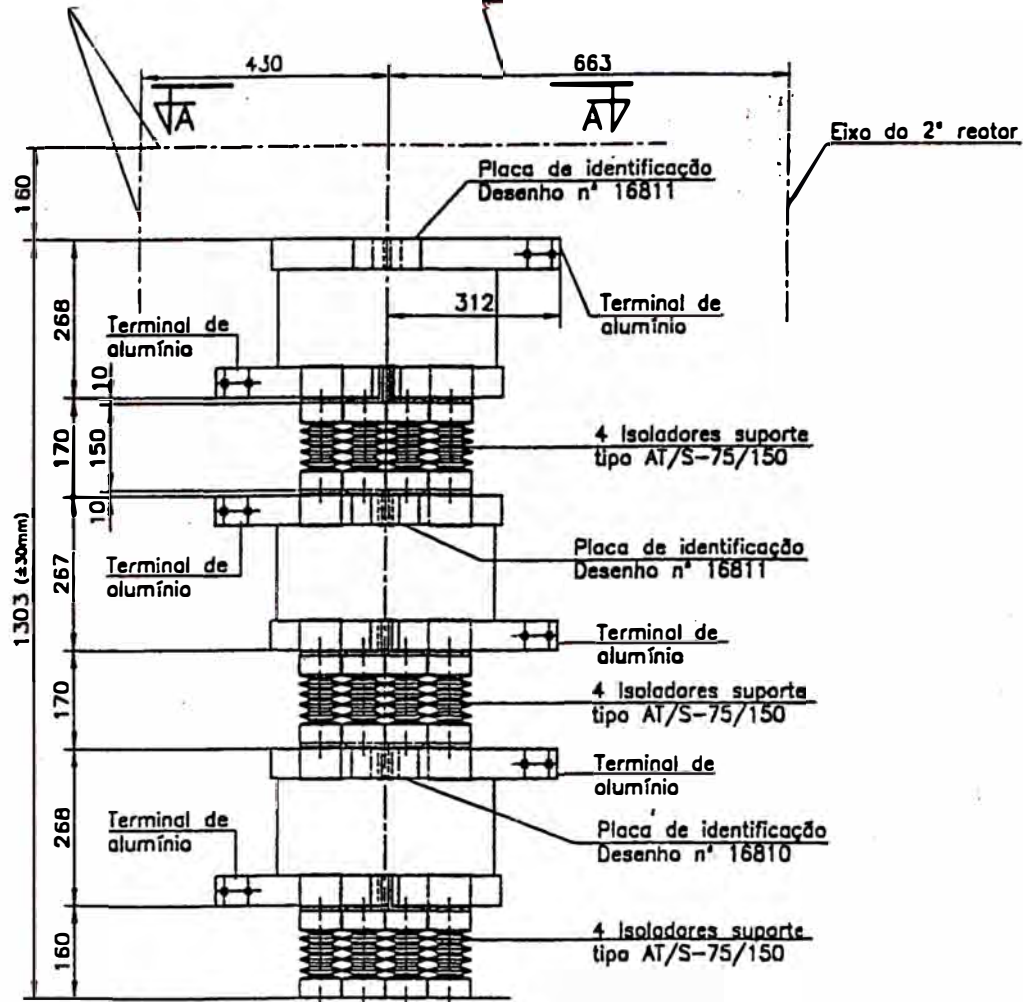
CLIENTE: INEPAR	ESCALA	DESENHO Nº	REVISÃO
IND. C.: 145630	1:1	16810	0



Material: Alumínio
 Espessura: 1,0mm
 Contornos dos campos e letras cor natural do alumínio anodizado
 Gravação em baixo relêvo
 Fundo de cor preta
 Dimensões em milímetros

* 982648 C - 982657 C - Bobina central
 982648 S - 982657 S - Bobina superior

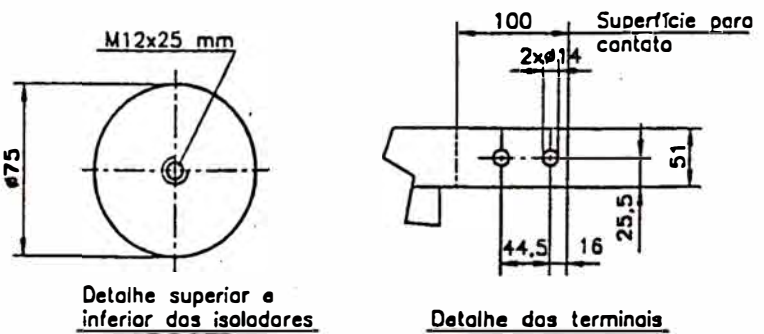
REV.	DATA	DESCRIÇÃO	POR	VER	APR
TÍTULO		DATA	11-09-98		
PLACA DE IDENTIFICAÇÃO		DESEN.	<i>[Signature]</i>		
		VERIF.	<i>[Signature]</i>		
		APROV.	<i>[Signature]</i>		
		ER EQUIP. ELET. DE ALTA TENSÃO LTDA SUCESSORA DA HAEFELY - ER			
CLIENTE:	INEPAR	ESCALA	DESENHO	REVISÃO	
O.C.:	145630	1:1	Nº 16811	0	



VISTA-AA

Oferto: 1/9/616-A
Dimensões em mm

REATOR TIPO 3 x FHC - 215/165	
-- Indutância nominal	0,215 mH ($\pm 3\%$)
-- Corrente nominal	131 A
-- Corrente total incluindo harmônicas	165 A
-- Frequência nominal	60 Hz
-- Corrente de curto circuito	4,7 kA/1s
térnico	12 kA pico
dinâmico	$\geq 30/300$ Hz
-- Fator Q à 75°C/frequência	170 W
-- Perdas à 75°C por fase, com 131 A	0,6 kV
-- Tensão nominal	81 kg
-- Massa sem isoladores	2/43/152
-- O.F.	



TOLERÂNCIA ONDE NÃO INDICADO		
>0	- 51	+ -0,5
>51	- 152	+ -1,5
>152	- 305	+ -3
>305	- 915	+ -6
>915	- 2032	+ -13
>2032	-	+ -19

REV.	DATA	DESCRIÇÃO	POR	VER	APR
TÍTULO		DATA		08-08-98	
DIMENSÕES DO REATOR		DESEN.	ER EQUIP. ELET. DE ALTA TENSÃO LTDA		
		VERIF.	SUCESSORA DA MAEFELY - ER		
		APROV.			
		CLIENTE: INEPAR	ESCALA	DESENHO	REVISÃO
O.C.: 145630	1:5-1;10	Nº 16809	0		

ANEXO C

RESULTADO DE LA MEDICIÓN DE ARMÓNICOS

Medición de Armónicos en 10 kV

ELCONTROL VIP SYS.3 13-11-97 13:30:39
 MECHANICS ANALYZER THREE-PHASE
 TYPED PRINT 50 Min.

L(R)					
KV	10.11	A	291.1	P.F.	0.341
KW	1639	VA	2044	WPr	2826
PH %	5	OH %	10	Hz	60.2
5	WELL	%	WPr	%	Cost
01	10.09	X	233.8	X	0.348
02	0.06	1	0.0	0	0.000
03	0.04	0	0.0	0	0.000
04	0.00	0	0.0	0	0.000
05	0.52	5	30.1	12	0.855
06	0.00	0	0.0	0	0.000
07	0.05	1	0.0	0	0.000
08	0.00	0	0.0	0	0.000
09	0.00	0	0.0	0	0.000
10	0.00	0	0.0	0	0.000
11	0.07	1	0.0	0	0.000
12	0.00	0	0.0	0	0.000
13	0.00	0	0.0	0	0.000
14	0.00	0	0.0	0	0.000
15	0.00	0	0.0	0	0.000
16	0.00	0	0.0	0	0.000
17	0.03	0	0.0	0	0.000
18	0.00	0	0.0	0	0.000
19	0.00	0	0.0	0	0.000
20	0.00	0	0.0	0	0.000
21	0.00	0	0.0	0	0.000
22	0.00	0	0.0	0	0.000
23	0.00	0	0.0	0	0.000
24	0.00	0	0.0	0	0.000
25	0.00	0	0.0	0	0.000

POWER OFF 13-11-97 13:16:36
 POWER ON 13-11-97 13:16:44

ELCONTROL VIP SYS.3 13-11-97 13:30:39
 MECHANICS ANALYZER THREE-PHASE

OVERALL					
KV	10.13	A	290.9	P.F.	0.328
KW	967	VA	2947	WPr	2740
PH %	5	OH %	10	Hz	60.1
4	WELL	%	WPr	%	Cost
01	10.10	X	292.1	X	0.340
02	0.00	0	0.0	0	0.000
03	0.00	0	0.0	0	0.000
04	0.00	0	0.0	0	0.000
05	0.49	5	29.2	10	0.838
06	0.00	0	0.0	0	0.000
07	0.03	0	0.0	0	0.000
08	0.00	0	0.0	0	0.000
09	0.00	0	0.0	0	0.000
10	0.00	0	0.0	0	0.000
11	0.04	0	0.0	0	0.000
12	0.00	0	0.0	0	0.000
13	0.03	0	0.0	0	0.000
14	0.00	0	0.0	0	0.000
15	0.00	0	0.0	0	0.000
16	0.00	0	0.0	0	0.000
17	0.00	0	0.0	0	0.000
18	0.00	0	0.0	0	0.000
19	0.00	0	0.0	0	0.000
20	0.00	0	0.0	0	0.000
21	0.00	0	0.0	0	0.000
22	0.00	0	0.0	0	0.000
23	0.00	0	0.0	0	0.000
24	0.00	0	0.0	0	0.000
25	0.00	0	0.0	0	0.000

L(R)					
KV	10.07	A	289.8	P.F.	0.328
KW	2871	VA	2919	WPr	2740
PH %	5	OH %	10	Hz	60.1
11	WELL	%	WPr	%	Cost
01	10.04	X	282.2	X	0.340
02	0.00	0	0.0	0	0.000
03	0.00	0	0.0	0	0.000
04	0.00	0	0.0	0	0.000
05	0.50	5	29.9	10	0.832
06	0.00	0	0.0	0	0.000
07	0.05	1	0.0	0	0.000
08	0.00	0	0.0	0	0.000
09	0.00	0	0.0	0	0.000
10	0.00	0	0.0	0	0.000
11	0.06	1	0.0	0	0.000
12	0.00	0	0.0	0	0.000
13	0.00	0	0.0	0	0.000
14	0.00	0	0.0	0	0.000
15	0.00	0	0.0	0	0.000
16	0.00	0	0.0	0	0.000
17	0.00	0	0.0	0	0.000
18	0.00	0	0.0	0	0.000
19	0.00	0	0.0	0	0.000
20	0.00	0	0.0	0	0.000
21	0.00	0	0.0	0	0.000
22	0.00	0	0.0	0	0.000
23	0.00	0	0.0	0	0.000
24	0.00	0	0.0	0	0.000
25	0.00	0	0.0	0	0.000

Medición de Armónicos en TR-1
Cargas Generadoras de Armónicos A2

ELCONTROL UIP SYS.3 13-11-97 09:48:13

HARMONICS ANALYZER THREE-PHASE

OVERALL

L1(R)
 U 250.4 A 1007 P.F. 0.493
 kW 124.4 kVA 252.2 kWf 189.6
 W % 8 DA % 38 Hz 60.0

H	Volt %	Amp %	Cost
01	250.0 X	937 X	0.540
02	0.9 0	34 4	-0.243
03	2.9 1	10 1	-0.605
04	0.5 0	11 1	0.949
05	19.2 8	359 38	-0.151
06	0.8 0	6 1	-0.493
07	2.7 1	51 5	-0.780
08	0.9 0	10 1	-0.657
09	1.7 1	2 0	-0.882
10	0.0 0	6 1	0.000
11	4.9 2	90 10	-0.043
12	0.3 0	2 0	0.096
13	2.3 1	7 1	-0.479
14	0.6 0	8 1	0.198
15	1.7 1	3 0	-0.953
16	0.0 0	5 1	0.000
17	2.4 1	44 5	-0.224
18	0.4 0	2 0	-0.519
19	1.4 1	5 1	-0.498
20	0.4 0	6 1	0.573
21	1.3 1	2 0	0.052
22	0.0 0	4 0	0.000
23	1.6 1	24 3	-0.075
24	0.6 0	2 0	0.963
25	1.1 0	0 0	0.000

L2(S)

U 248.1 A 1035 P.F. 0.494
 kW 124.4 kVA 256.8 kWf 189.4
 W % 9 DA % 37 Hz 60.0

H	Volt %	Amp %	Cost
01	246.7 X	956 X	0.544
02	0.3 0	14 1	0.931
03	1.6 1	13 1	-0.804
04	1.0 0	12 1	-0.219
05	21.3 9	362 38	-0.244
06	0.6 0	2 0	-0.202
07	2.4 1	62 6	-0.977
08	0.5 0	5 1	-0.935
09	1.4 1	4 0	-0.864
10	0.3 0	2 0	-0.470
11	6.7 3	91 10	-0.321
12	0.0 0	0 0	0.000
13	0.5 0	11 1	-0.642
14	0.6 0	0 0	0.000
15	1.5 1	3 0	-0.938
16	0.3 0	3 0	0.605
17	4.0 2	44 5	-0.181
18	0.5 0	3 0	-0.036
19	0.9 0	4 0	-0.999
20	0.5 0	3 0	-0.886
21	0.9 0	2 0	-0.829
22	0.9 0	2 0	0.747
23	2.6 1	25 3	-0.590
24	0.0 0	0 0	0.000
25	0.5 0	0 0	0.000

L3(T)

U 246.1 A 1029 P.F. 0.49
 kW 123.5 kVA 253.0 kWf 188.2
 W % 10 DA % 36 Hz 60.0

H	Volt %	Amp %	Cost
01	244.9 X	954 X	0.540
02	1.3 1	11 1	1.1
03	1.8 1	16 2	-0.1
04	0.3 0	8 1	-0.1
05	21.9 9	355 37	-0.1
06	1.6 1	3 0	-0.1
07	1.5 1	54 6	-0.1
08	0.3 0	4 0	-0.1
09	1.0 0	7 1	-0.1
10	0.6 0	3 0	-0.1
11	6.3 3	97 9	-0.1
12	0.9 0	4 0	-0.1
13	0.5 0	8 1	0.1
14	0.8 0	3 0	-0.1
15	1.1 0	5 1	-0.1
16	1.0 0	5 1	-0.9
17	4.6 2	43 5	-0.1
18	1.0 0	3 0	0.1
19	0.6 0	3 0	-0.7
20	0.8 0	0 0	0.0
21	1.1 0	3 0	-0.3
22	0.5 0	4 0	-0.5
23	3.7 2	25 3	-0.2
24	0.0 0	2 0	0.0
25	0.4 0	5 1	0.5

Medición de Armónicos en TR-2
Cargas Generadoras de Armónicos A3

ELECTRICAL W/P SYS. J 72-17-57 19:14:05

INSTRUMENTS ANALYZER THREE-PHASE

OVERALL

L1(R)					
V	A	W	P.F.	Hz	Cost
01	256.9	603	0.624		
02	96.7	154.9	111.7		
03	0.2	0	0.000		
04	0.3	0	0.000		
05	0.6	0	0.000		
06	7.6	159	28		
07	0.6	0	0.000		
08	2.7	15	3		
09	0.5	0	0.000		
10	0.6	0	0.000		
11	0.9	0	0.000		
12	2.5	17	6		
13	0.5	0	0.000		
14	0.4	0	0.000		
15	0.4	0	0.000		
16	0.8	0	0.000		
17	0.5	0	0.000		
18	1.8	21	4		
19	0.6	0	0.000		
20	1.3	6	1		
21	0.0	0	0.000		
22	0.0	0	0.000		
23	2.2	10	2		
24	0.8	0	0.000		
25	0.0	0	0.000		

L2(S)					
V	A	W	P.F.	Hz	Cost
01	257.2	510	0.649		
02	191.7	156.9	110.0		
03	0.4	0	0.000		
04	0.7	0	0.000		
05	1.9	14	2		
06	0.7	0	0.000		
07	7.3	133	27		
08	1.7	3	1		
09	3.1	17	3		
10	1.4	2	0		
11	0.6	0	0.000		
12	1.3	4	1		
13	2.8	37	6		
14	1.9	0	0		
15	0.8	0	0.000		
16	0.5	0	0.000		
17	0.9	0	0.000		
18	0.7	0	0.000		
19	2.2	19	3		
20	1.1	2	0		
21	1.3	4	1		
22	1.1	4	2		
23	0.3	0	0.000		
24	1.1	0	0.000		
25	1.1	0	0.000		
26	1.1	0	0.000		
27	1.1	0	0.000		
28	1.1	0	0.000		
29	1.1	0	0.000		
30	1.1	0	0.000		
31	1.1	0	0.000		
32	1.1	0	0.000		
33	1.1	0	0.000		
34	1.1	0	0.000		
35	1.1	0	0.000		

L3(D)					
V	A	W	P.F.	Hz	Cost
01	256.9	526	0.624		
02	96.7	154.9	111.7		
03	0.2	0	0.000		
04	0.3	0	0.000		
05	0.6	0	0.000		
06	7.6	159	28		
07	0.6	0	0.000		
08	2.7	15	3		
09	0.5	0	0.000		
10	0.6	0	0.000		
11	0.9	0	0.000		
12	2.5	17	6		
13	0.5	0	0.000		
14	0.4	0	0.000		
15	0.4	0	0.000		
16	0.8	0	0.000		
17	0.5	0	0.000		
18	1.8	21	4		
19	0.6	0	0.000		
20	1.3	6	1		
21	0.0	0	0.000		
22	0.0	0	0.000		
23	2.2	10	2		
24	0.8	0	0.000		
25	0.0	0	0.000		

Medición de Armónicos en TR-3

ELECTROL VIB SYS.3 13-11-97 10:37:10

MECHANICS ANALYZER THREE-PHASE

OVERALL

L1(R)					
U	V	A	P.F.		
257.6	184.9	1290	0.556	235.3	
DA % 12	DA % 33	Hz 60.0			
H	Volt %	Amp %	Cost		
01	254.7 X	1218 X	0.606		
02	0.0 0	15 1	0.000		
03	13.2 5	14 1	-0.914		
04	0.3 0	7 1	-0.215		
05	25.5 10	406 33	-0.269		
06	1.2 0	6 0	0.729		
07	2.5 1	64 5	-0.340		
08	0.5 0	5 0	0.862		
09	7.1 3	6 0	-0.847		
10	0.9 0	4 0	0.982		
11	7.0 3	74 6	-0.397		
12	0.9 0	2 0	0.416		
13	2.3 1	27 2	-0.313		
14	0.6 0	6 0	0.945		
15	2.5 1	3 0	0.460		
16	0.7 0	4 0	0.149		
17	2.3 1	24 2	-0.408		
18	1.5 1	3 0	-0.542		
19	3.2 1	23 2	-0.102		
20	1.3 1	2 0	-0.947		
21	1.8 1	3 0	-0.192		
22	0.6 0	5 0	-0.254		
23	0.9 0	5 0	0.955		
24	0.4 0	3 0	0.064		
25	2.3 1	14 1	-0.187		

L2(S)

U	V	A	P.F.		
256.7	170.7	1327	0.591	254.4	
DA % 12	DA % 32	Hz 60.0			
H	Volt %	Amp %	Cost		
01	254.4 X	1241 X	0.511		
02	0.3 0	16 1	-0.772		
03	14.7 6	22 2	1.000		
04	1.0 0	7 1	0.593		
05	24.9 10	408 33	-0.229		
06	0.5 0	0 0	0.000		
07	2.6 1	64 5	-0.147		
08	0.9 0	4 0	-0.045		
09	6.7 3	8 1	0.549		
10	0.4 0	2 0	-0.447		
11	8.4 3	80 6	-0.335		
12	0.7 0	2 0	-0.419		
13	1.5 1	22 2	-0.076		
14	0.5 0	3 0	0.927		
15	3.6 1	5 0	-0.481		
16	0.4 0	4 0	-0.543		
17	3.1 1	26 2	-0.277		
18	0.8 0	3 0	-0.749		
19	2.0 1	16 1	-0.108		
20	1.1 0	0 0	0.000		
21	1.6 1	4 0	-0.799		
22	0.4 0	3 0	-0.536		
23	1.0 0	5 0	-0.050		
24	1.1 0	3 0	-0.837		
25	3.7 1	12 1	-0.282		

L3(T)

U	V	A	P.F.		
257.5	163.6	1251	0.511	235.3	
DA % 12	DA % 31	Hz 60.0			
H	Volt %	Amp %	Cost		
01	255.9 X	1179 X	0.511		
02	1.3 1	5 0	-0.000		
03	12.6 5	10 1	-0.000		
04	1.1 0	7 1	0.000		
05	24.1 9	375 32	-0.000		
06	0.9 0	0 0	0.000		
07	3.8 1	48 4	-0.000		
08	1.5 1	2 0	0.000		
09	5.4 2	7 1	0.000		
10	1.5 1	2 0	0.000		
11	6.9 3	69 6	-0.000		
12	1.3 1	3 0	0.000		
13	1.9 1	18 2	0.000		
14	1.4 1	2 0	0.000		
15	2.3 1	6 1	0.000		
16	1.9 1	2 0	0.000		
17	2.6 1	20 2	0.000		
18	0.6 0	2 0	-0.000		
19	3.1 1	18 2	0.000		
20	0.8 0	2 0	0.500		
21	1.5 1	3 0	1.000		
22	1.6 1	3 0	1.000		
23	0.8 0	7 1	-0.000		
24	1.4 1	0 0	0.000		
25	2.7 1	16 1	0.100		

ELCONTROL VIP S/S.3 12-11-97 13:10:02
 HARMONICS ANALYZER THREE-PHASE
 OVERALL

L1(R)					
V	R	P.F.			
260.5	1105	0.266			
kV 76.6	kVA 287.9	kVA 240.3			
DU % 11	DA % 39	Hz 60.0			
H	Volt	%	Amp	%	Cost
01	258.8	X	1017	X	0.299
02	0.7	0	13	1	-0.278
03	12.9	5	19	2	-0.837
04	0.6	0	8	1	0.781
05	22.8	9	405	40	-0.122
06	0.9	0	0	0	0.000
07	7.5	3	115	11	-0.535
08	0.4	0	7	1	-0.185
09	7.3	3	6	1	0.640
10	0.6	0	0	0	0.000
11	5.3	2	89	8	-0.355
12	0.5	0	6	1	-0.921
13	3.2	1	35	3	-0.268
14	0.9	0	2	0	0.154
15	5.0	2	5	0	0.744
16	0.3	0	6	1	0.763
17	3.0	1	26	3	-0.205
18	0.5	0	4	0	-0.999
19	1.7	1	12	1	-0.133
20	0.4	0	3	0	-0.321
21	2.6	1	3	0	0.797
22	1.2	0	0	0	0.000
23	1.1	0	11	1	0.038
24	0.7	0	3	0	-0.826
25	1.0	0	4	0	-0.066

L2(S)					
V	R	P.F.			
260.3	1125	0.248			
kV 72.6	kVA 292.8	kVA 246.9			
DU % 11	DA % 40	Hz 60.0			
H	Volt	%	Amp	%	Cost
01	257.9	X	1040	X	0.273
02	0.7	0	10	1	-0.985
03	14.5	6	16	2	0.735
04	0.8	0	7	1	0.947
05	21.7	8	421	40	-0.107
06	0.0	0	0	0	0.000
07	7.2	3	134	13	-0.379
08	0.3	0	2	0	-0.800
09	7.9	3	7	1	0.922
10	0.8	0	2	0	0.030
11	5.5	2	84	8	-0.088
12	0.0	0	2	0	0.000
13	3.5	1	42	4	-0.332
14	1.0	0	2	0	-0.273
15	3.1	1	2	0	0.990
16	1.1	0	4	0	0.992
17	2.6	1	26	3	-0.234
18	0.8	0	0	0	0.000
19	1.1	0	19	2	-0.116
20	0.5	0	2	0	0.924
21	1.9	1	4	0	0.997
22	0.3	0	3	0	0.804
23	1.3	1	10	1	0.308
24	0.8	0	2	0	0.967
25	0.3	0	9	1	0.941

L3(T)					
V	R	P.F.			
259.5	1095	0.263			
kV 74.9	kVA 284.2	kVA 233.9			
DU % 12	DA % 40	Hz 60.0			
H	Volt	%	Amp	%	Cost
01	256.0	X	1006	X	0.300
02	0.3	0	18	2	-1.060
03	12.1	5	13	1	-0.530
04	0.3	0	11	1	0.225
05	24.9	10	414	41	-0.155
06	1.9	1	3	0	0.311
07	4.7	2	120	12	-0.578
08	0.4	0	4	0	0.924
09	7.3	3	8	1	-0.979
10	0.6	0	8	1	0.732
11	7.9	3	85	8	-0.219
12	1.5	1	0	0	0.950
13	2.4	1	37	4	-0.340
14	0.4	0	5	1	0.489
15	4.0	2	5	1	-0.996
16	0.6	0	3	0	-0.950
17	5.3	2	30	3	0.043
18	1.4	1	4	0	0.959
19	2.1	1	19	2	-0.736
20	1.1	0	0	0	0.000
21	2.2	1	4	0	-0.999
22	0.4	0	2	0	-0.346
23	2.9	1	16	2	0.234
24	0.8	0	4	0	0.025
25	2.6	1	8	1	-0.351

Medición de Armónicos en TR-4

ELCONTROL VIP SYS.3 13-11-97 11:27:57
 HARMONICS ANALYZER THREE-PHASE
 OVERALL

L1(R)					
U	A	P.F.			
242.5	492	0.879			
KW 104.9	KVA 119.3	KVAR 57.4			
DU % 4	DA % 7	Hz 60.2			
H	Volt	%	Amp	%	Cost
01	243.0	X	493	X	0.880
02	1.4	1	4	1	0.974
03	1.1	0	3	1	-0.708
04	0.6	0	1	0	-0.363
05	8.9	4	32	6	0.044
06	0.5	0	1	0	-0.257
07	1.6	1	3	1	-0.951
08	0.0	0	1	0	0.000
09	0.7	0	1	0	-0.908
10	0.5	0	0	0	0.000
11	1.6	1	5	1	-0.466
12	0.6	0	1	0	0.684
13	0.7	0	1	0	-0.993
14	0.0	0	1	0	0.000
15	0.3	0	1	0	-0.580
16	0.3	0	1	0	0.489
17	0.5	0	2	0	-0.739
18	0.6	0	1	0	0.381
19	0.0	0	1	0	0.000
20	0.3	0	1	0	0.266
21	0.4	0	2	0	0.933
22	0.0	0	1	0	0.000
23	0.5	0	2	0	-0.149
24	0.6	0	0	0	0.000
25	0.0	0	0	0	0.000

L2(S)					
U	A	P.F.			
248.6	532	0.890			
KW 116.4	KVA 132.3	KVAR 62.5			
DU % 4	DA % 6	Hz 60.2			
H	Volt	%	Amp	%	Cost
01	248.5	X	537	X	0.885
02	0.7	0	4	1	-0.089
03	1.8	1	0	0	0.000
04	0.3	0	0	0	0.000
05	7.9	3	32	6	-0.033
06	0.6	0	1	0	-0.204
07	0.9	0	4	1	-0.997
08	0.5	0	0	0	0.000
09	0.5	0	0	0	0.000
10	0.0	0	1	0	0.000
11	1.9	1	4	1	-0.212
12	0.4	0	1	0	0.959
13	0.5	0	2	0	-0.929
14	0.3	0	1	0	0.993
15	0.3	0	0	0	0.000
16	0.7	0	0	0	0.000
17	0.9	0	1	0	-0.714
18	0.5	0	1	0	-0.742
19	0.8	0	1	0	0.409
20	0.0	0	1	0	0.000
21	0.3	0	0	0	0.000
22	0.0	0	1	0	0.000
23	0.8	0	1	0	0.934
24	0.7	0	0	0	0.000
25	0.5	0	1	0	-0.937

L3(T)					
U	A	P.F.			
250.3	524	0.850			
KW 111.5	KVA 131.2	KVAR 68.9			
DU % 4	DA % 6	Hz 60.2			
H	Volt	%	Amp	%	Cost
01	250.3	X	523	X	0.852
02	1.2	0	3	1	0.999
03	1.0	0	2	0	0.635
04	0.8	0	1	0	0.071
05	8.6	3	32	6	-0.140
06	1.1	0	1	0	0.000
07	1.6	1	4	1	-0.635
08	0.6	0	2	0	0.264
09	0.4	0	1	0	0.650
10	0.4	0	1	0	0.959
11	2.0	1	5	1	-0.500
12	0.8	0	0	0	0.000
13	0.7	0	2	0	0.340
14	0.0	0	0	0	0.000
15	0.6	0	2	0	0.804
16	0.0	0	0	0	0.000
17	1.3	1	2	0	-0.574
18	0.7	0	0	0	0.000
19	0.4	0	1	0	0.362
20	0.5	0	1	0	-0.657
21	0.6	0	1	0	0.568
22	0.6	0	2	0	0.828
23	0.8	0	1	0	-0.402
24	0.3	0	0	0	0.000
25	0.9	0	1	0	0.212

ANEXO D

RESULTADO DE LA SIMULACIÓN DEL FLUJO DE ARMÓNICOS

+-----+
 | INJECAO DE CORRENTES DEVIDO A MEDICAO |
 +-----+

+-----+
 | CORRENTES INJETADAS NA BARRA BTR1 |
 +-----+

HARMONICO	MODULO(A)	ANG (GRAUS)
1	1099.98400	.00000
2	33.98494	.00000
3	12.99038	.00000
4	12.99038	.00000
5	369.89780	.00000
6	2.99172	.00000
7	61.93394	.00000
8	4.99933	.00000
9	2.99172	.00000
10	2.99172	.00000
11	89.98791	.00000
12	2.99172	.00000
13	14.95862	.00000
14	2.99172	.00000
15	2.99172	.00000
16	2.99172	.00000
17	43.99671	.00000
18	2.99172	.00000
19	2.99172	.00000
20	2.99172	.00000
21	2.99172	.00000
22	2.99172	.00000
23	24.99664	.00000
24	2.99172	.00000
25	4.99933	.00000

INJECAO DE CORRENTES DEVIDO A MEDICAO

CORRENTES INJETADAS NA BARRA BTR2		
HARMONICO	MODULO(A)	ANG(GRAUS)
1	578.00630	.00000
2	2.99172	.00000
3	14.00074	.00000
4	2.99172	.00000
5	159.95230	.00000
6	2.99172	.00000
7	16.92686	.00000
8	2.99172	.00000
9	4.98621	.00000
10	2.99172	.00000
11	3.70029	.00000
12	2.99172	.00000
13	6.99381	.00000
14	2.99172	.00000
15	2.99172	.00000
16	2.99172	.00000
17	19.99731	.00000
18	2.99172	.00000
19	4.98621	.00000
20	2.99172	.00000
21	2.99172	.00000
22	2.99172	.00000
23	12.99038	.00000
24	2.99172	.00000
25	2.99172	.00000

+-----+
 | INJECÃO DE CORRENTES DEVIDO A MEDICAO |
 +-----+

+-----+
 | CORRENTES INJETADAS NA BARRA BTR3 |
 +-----+

HARMONICO	MODULO(A)	ANG(GRAUS)
1	1289.85300	.00000
2	15.99523	.00000
3	19.94483	.00000
4	2.99172	.00000
5	420.94080	.00000
6	2.99172	.00000
7	66.92014	.00000
8	2.99172	.00000
9	10.99590	.00000
10	2.99172	.00000
11	7.99105	.00000
12	2.99172	.00000
13	2.89987	.00000
14	2.99172	.00000
15	7.99105	.00000
16	2.99172	.00000
17	25.98076	.00000
18	2.99172	.00000
19	24.93103	.00000
20	2.99172	.00000
21	2.99172	.00000
22	2.99172	.00000
23	2.99172	.00000
24	2.99172	.00000
25	14.99798	.00000

+-----+

+-----+
 | INJECAO DE CORRENTES DEVIDO A MEDICAO |
 +-----+

CORRENTES INJETADAS NA BARRA BTR4		
HARMONICO	MODULO(A)	ANG(GRAUS)
1	544.93990	.00000
2	4.00077	.00000
3	2.99172	.00000
4	.99724	.00000
5	31.99045	.00000
6	.99724	.00000
7	3.98897	.00000
8	.99724	.00000
9	.99724	.00000
10	.99724	.00000
11	5.99657	.00000
12	.99724	.00000
13	1.98136	.00000
14	2.99172	.00000
15	.99724	.00000
16	.99724	.00000
17	1.99448	.00000
18	.99724	.00000
19	.99724	.00000
20	.99724	.00000
21	.99724	.00000
22	.99724	.00000
23	.99724	.00000
24	.99724	.00000
25	.99724	.00000

D1 Situación inicial

HARMOD
PROGRAMA DE FLUXO HARMONICO

INEPAR INDUSTRIA SA
 RESPONSAVEL TECNICO : ENG. ANTONIO CESAR ANDRADE
 SISTEMA ELETRICO - PAPELEIRA PERUANA
 SITUACAO ATUAL - NA CONDICAO SEM CAPACITORES

HARMONICO INICIAL: 1.00000
 HARMONICO FINAL: 25.00000
 INTERVALO HARMONICO: .50000
 FREQUENCIA NOMINAL DO SISTEMA .: 60.00000 Hz
 POTENCIA BASE: 100.00000 MVA

DISTORCAO DE TENSAO	
BARRA	DISTORCAO (%)
CONS	6.23841
BTR1	10.31937
BTR2	6.01476
BTR3	11.99546
BTR4	7.24176

VALORES EM % DA TENSAO FUNDAMENTAL DE CADA BARRA

D2 Situación con capacitores

HARMOD

PROGRAMA DE FLUXO HARMONICO

INEPAR INDUSTRIA SA
RESPONSAVEL TECNICO : ENG. ANTONIO CESAR ANDRADE

SISTEMA ELETRICO - PAPELEIRA PERUANA

SITUACAO NA CONDICAO DE TODOS CAPACITORES LIGADOS
DE ACORDO COM A DEFINICAO INICIAL

TR1 - 800 KVAR - 400 LIGADOS

TR2 - 600 KVAR - 600 LIGADOS

TR4 - 900 KVAR - 700 LIGADOS

HARMONICO INICIAL: 1.00000
HARMONICO FINAL: 25.00000
INTERVALO HARMONICO: .50000
FREQUENCIA NOMINAL DO SISTEMA ..: 60.00000 Hz
POTENCIA BASE: 100.00000 MVA

***** R E S U L T A D O S *****

DISTORCAO DE TENSAO	
BARRA	DISTORCAO (%)
CONS	9.65963
BTR1	21.33444
BTR2	19.07950
BTR3	31.61653
BTR4	24.81410

VALORES EM % DA TENSAO FUNDAMENTAL DE CADA BARRA

D3 Situación con filtros en baja tensión con Pcc de 53MVA

HARMOD

PROGRAMA DE FLUXO HARMONICO

INEPAR INDUSTRIA SA
RESPONSAVEL TECNICO : ENG. ANTONIO CESAR ANDRADE

SISTEMA ELETRICO - PAPELEIRA PERUANA

SITUACAO COM CORRECAO DO FATOR DE POTENCIA VIA BT
COM A POTENCIA DE CURTO CIRCUITO ATUAL 53 MVAR.

DISTRIBUICAO DO REATIVO:

- TR1 - 800 KVAR EM FILTROS DE 5a ORDEM (8 X 100 KVAR)
- TR2 - 700 KVAR EM FILTROS DE 5a ORDEM (7 X 100 KVAR)
- TR3 - 1000 KVAR EM FILTROS DE 5a ORDEM (10 X 100 KVAR)
- TR4 - 900 KVAR EM FILTROS DE 5a ORDEM (9 X 100 KVAR)

NA CONDICAO DE TODOS ESTAGIOS LIGADOS.

HARMONICO INICIAL: 1.00000
HARMONICO FINAL: 25.00000
INTERVALO HARMONICO: .50000
FREQUENCIA NOMINAL DO SISTEMA ..: 60.00000 Hz
POTENCIA BASE: 100.00000 MVA

DISTORCAO DE TENSAO	
BARRA	DISTORCAO (%)
CONS	4.20874
BTR1	5.94188
BTR2	4.81599
BTR3	6.16379
BTR4	4.79156

VALORES EM % DA TENSAO FUNDAMENTAL DE CADA BARRA

D4 Situación con filtros y condensadores en baja tensión con Pcc 198MVA

HARMOD
PROGRAMA DE FLUXO HARMONICO

INEPAR INDUSTRIA SA
RESPONSAVEL TECNICO : ENG. ANTONIO CESAR ANDRADE

SISTEMA ELETRICO - PAPELEIRA PERUANA

SITUACAO COM CORRECAO DO FATOR DE POTENCIA VIA BT
COM A POTENCIA DE CURTO CIRCUITO DE 198 MVAR.

DISTRIBUICAO DO REATIVO:

- TR1 - 800 KVAR EM FILTROS DE 5a ORDEM (8 X 100 KVAR)
- TR2 - 700 KVAR EM FILTROS DE 5a ORDEM (7 X 100 KVAR)
- TR3 - 1000 KVAR EM FILTROS DE 5a ORDEM (10 X 100 KVAR)
- TR4 - 900 KVAR EM BANCO DE CAPACITORES FIXOS.

NA CONDICAO DE TODOS ESTAGIOS LIGADOS.

HARMONICO INICIAL	1.00000
HARMONICO FINAL	25.00000
INTERVALO HARMONICO50000
FREQUENCIA NOMINAL DO SISTEMA ..	60.00000 Hz
POTENCIA BASE	100.00000 MVA

DISTORCAO DE TENSAO	
BARRA	DISTORCAO (%)
CONS	.45224
BTR1	2.24897
BTR2	1.14002
BTR3	1.32786
BTR4	.61812

VALORES EM % DA TENSAO FUNDAMENTAL DE CADA BARRA

D5 Situación con filtros en media tensión con Pcc de 53 MVA

HARMOD

PROGRAMA DE FLUXO HARMONICO

INEPAR INDUSTRIA SA
RESPONSAVEL TECNICO : ENG. ANTONIO CESAR ANDRADE

SISTEMA ELETRICO - PAPELEIRA PERUANA

SITUACAO COM CORRECAO DO FATOR DE POTENCIA VIA AT 10 KV
COM A POTENCIA DE CURTO CIRCUITO ATUAL 53 MVAR.
ATRAVES DE FILTRO DE 5a ORDEM DE 3400 KVAR

HARMONICO INICIAL: 1.00000
HARMONICO FINAL: 25.00000
INTERVALO HARMONICO: .50000
FREQUENCIA NOMINAL DO SISTEMA ..: 60.00000 Hz
POTENCIA BASE: 100.00000 MVA

DISTORCAO DE TENSAO	
BARRA	DISTORCAO (%)
CONS	1.62822
BTR1	5.37181
BTR2	2.91041
BTR3	5.29041
BTR4	1.76815

VALORES EM % DA TENSAO FUNDAMENTAL DE CADA BARRA

D6 Situación con filtros en media tensión con Pcc de 198 MVA

HARMOD

PROGRAMA DE FLUXO HARMONICO

INEPAR INDUSTRIA SA
RESPONSAVEL TECNICO : ENG. ANTONIO CESAR ANDRADE

SISTEMA ELETRICO - PAPELEIRA PERUANA

SITUACAO COM CORRECAO DO FATOR DE POTENCIA VIA AT 10 KV
PARA POTENCIA DE CURTO CIRCUITO NOVA - 198 MVA
ATRAVES DE FILTRO DE 5a ORDEM DE 3400 KVAR

HARMONICO INICIAL: 1.00000
HARMONICO FINAL: 25.00000
INTERVALO HARMONICO: .50000
FREQUENCIA NOMINAL DO SISTEMA .: 60.00000 Hz
POTENCIA BASE: 100.00000 MVA

DISTRORCAO DE TENSAO	
BARRA	DISTRORCAO (%)
CONS	.67110
BTR1	4.87911
BTR2	2.25798
BTR3	4.87823
BTR4	.90929

VALORES EM % DA TENSAO FUNDAMENTAL DE CADA BARRA .

BIBLIOGRAFIA

- Tom Shaughnessy, "Power Factor, Harmonics and Harmonic Filters", California.
- Serge Bernard, "Harmonics Pollution", MGE UPS Systems, Grenoble/France
- LAWRENCE J. GITMAN, "Administración Financiera Básica", Editorial Harla, tercera edición, 1996
- J. ARRILAGA, Dept. of Electrical Engineering, University of Canterbury, New Zealand, D. A. BRADLEY, Dept. of Electrical Engineering, University of Lancaster, UK, P.S. BODGER, Dept. of Electrical Engineering, University of Canterbury, New Zealand, "Power System Harmonics", Publicación de Wiley-Interscience JOHN WILEY & SONS LTD., Edición 1985, Reimpreso en Julio de 1988, 336 páginas.