

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**TECNOLOGÍA EN LA FABRICACIÓN DE BATERÍAS
AUTOMÁTICAS Y BANCOS DE CONDENSADORES PARA LA
COMPENSACIÓN REACTIVA EN BAJA TENSION**

INFORME DE SUFICIENCIA

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

PRESENTADO POR:

LUIS ALBERTO JESUS NEGRETE GARAY

**PROMOCIÓN
1989 - II**

**LIMA – PERÚ
2007**

**TECNOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE BATERÍAS Y BANCOS DE
CONDENSADORES PARA COMPENSACIÓN REACTIVA
AUTOMÁTICA EN BAJA TENSION**

A mi madre, a la memoria de mi padre y la de mi tía Alina, en agradecimiento al constante apoyo.

SUMARIO

Este trabajo reúne en su conjunto una variada información relacionada al tema de la compensación reactiva, pero tomando en cuenta las innovaciones tecnológicas que en algunos casos son ventajosas como el desarrollo de los reguladores electrónicos; en los que se han implementado programas de control más precisos y sensibles permitiendo un uso más equilibrado de los condensadores dentro de las baterías automáticas. Y por otro lado el uso ya bastante difundido de dispositivos electrónicos de potencia como los variadores de frecuencia y los arrancadores de estado sólido entre otros, que provocan grandes cantidades de armónicos. Con el objeto de aportar algunas soluciones a este problema, se describen las características de los principales elementos que conforman las baterías automáticas de compensación reactiva posteriormente se presentan dos casos prácticos demostrativos y se concluye con algunas precisiones básicas que relacionan al uso de las baterías de condensadores en presencia de armónicos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	01
CAPITULO I	
PROYECTO DE COMPENSACIÓN REACTIVA	
1.1 Planteamiento del problema	02
1.2 Determinación de la potencia de los condensadores	07
1.3 Localización de los condensadores	10
1.3.1 Compensación individual	10
1.3.2 Compensación por grupos	12
1.3.3 Compensación central con sistema de regulación	13
1.4 Determinación del tipo de batería de compensación	14
CAPITULO II	
DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LOS TABLEROS DE COMPENSACIÓN REACTIVA	
2.1 Consideraciones técnicas para la fabricación de los tableros eléctricos	15
2.2 Diseño, diagramas unifilares y de control de los tableros	17
2.3 Elementos de protección	17
2.3.1 Dimensionado de los elementos de instalación y protección	18
2.3.2 Recomendaciones de instalación	22
2.4 Ajuste de parámetros del regulador electrónico de potencia reactiva	23
2.5 Cálculo de las inductancias de choque	24
2.6 Verificación de las condiciones de las conexiones	26
2.7 Verificación de los parámetros eléctricos antes y después de la operación de los equipos	26
2.8 Verificación de la temperatura ambiente y descarga de los Condensadores cuando se quita la energía	27

CAPITULO III**ELEMENTOS DE LAS BATERÍAS AUTOMÁTICAS**

3.1	Características de los condensadores	29
3.2	Características de las baterías automáticas	33
3.3	Características de los reguladores electrónicos	35
3.4	Características de los contactores	37

CAPITULO IV**APLICACIONES**

4.1	Primer caso	40
4.1.1	Datos de las cargas	40
4.1.2	Cálculo de la batería	42
4.1.3	Solución propuesta	46
4.1.4	¿Que cambios de recargos representa la compensación?	48
4.2	Segundo caso	48
4.2.1	Antecedentes	48
4.2.2	Especificaciones técnicas de materiales	50
4.2.3	Especificaciones técnicas de montaje	51
4.2.4	Inventario valorizado	52
4.2.5	Mantenimiento y garantía	53
4.2.6	Relación de planos	53

CAPITULO V**INFLUENCIA DE LOS ARMÓNICOS EN LA COMPENSACIÓN****REACTIVA**

5.1.	¿Qué son los armónicos?	58
5.2	Resonancia en las baterías automáticas	59
5.3	Compensación de energía reactiva con armónicos	63
5.4	Selección de una batería FR/FRE	64

CONCLUSIONES

66

ANEXOS**ANEXO A**

Conceptos Básicos

69

ANEXO B

El fenómeno de la resonancia en paralelo

72

ANEXO C

Cuadro de tarifas para Lima Metropolitana

75

BIBLIOGRAFIA

76

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los cambios organizacionales y de estructura de las empresas industriales han exigido una mayor eficiencia tanto técnica como económica de las empresas que participan en el mercado eléctrico. En donde la calidad de la energía eléctrica juega un papel importante en este contexto, y mejorar el factor de potencia por la compensación reactiva mediante banco de condensadores es parte de la solución cuantitativa a este problema. Este informe enfoca en su primer capítulo el planteamiento del problema para luego tratar otros puntos que van dirigido a determinar el tipo de batería de compensación reactiva según sea el requerimiento de la instalación.

En el segundo capítulo temas como diseño y fabricación son expuestas algunas consideraciones de interés para luego en el tercer capítulo definir las características técnicas de los elementos correspondientes a las baterías automáticas.

En el cuarto capítulo se muestran dos aplicaciones; en la primera de ella se muestra la metodología para el análisis y posterior determinación de la batería seleccionada; en el segundo caso se ve más los aspectos de instalación desde una vista global incluyendo la instalación y puesta en servicio.

Finalmente se hace un comentario muy general del comportamiento de los condensadores y su relación con los armónicos.

Mi agradecimiento a la empresa RLC Ingeniería Eléctrica por las facilidades relacionadas con el material de los casos prácticos expuestos.

CAPITULO I

PROYECTO DE COMPENSACION REACTIVA.

1.1 Planteamiento del problema

La energía reactiva inductiva es la que utilizan ciertos receptores para la creación de campos magnéticos. Esta energía que circula por la red, no se convierte en trabajo útil, aumenta la potencia total a transportar y distribuir por las compañías suministradoras. Por tanto, para evitar este exceso de potencia en la red, se necesita el montaje de baterías de condensadores en las instalaciones.

Para la medida del consumo de potencia reactiva en una instalación se utiliza como magnitud básica el $\cos \varnothing$, que nos da la relación existente entre la potencia activa y la potencia aparente.

$$\text{Cos } \varnothing_1 = \frac{\text{Pot. activa } P_1 \text{ (kW)}}{\text{Pot. aparente } S_1 \text{ (kVA)}} = \frac{P_1 \text{ (kW)}}{S_1 \text{ (kVA)}} \quad (1.1)$$

P_1 : Potencia activa representada en kW.

S_1 : Potencia aparente representada en KVA.

$\text{Cos } \varnothing_1$: Factor de potencia.

La solución más simple y que se revela además como la más económica y la más segura para reducir la energía reactiva tanto como se desee, es decir, para mejorar el factor de potencia, es de conectar una batería de condensadores electrostáticos en paralelo con los motores o transformadores. Un condensador electrostático es un “generador de energía reactiva”, que cede esta energía a un circuito que precisa de ella, lo cual va en beneficio de la corriente total absorbida por las máquinas en funcionamiento.

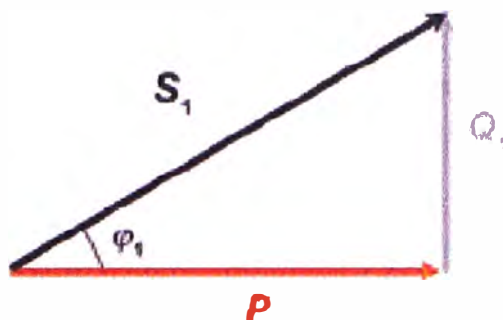


Fig. 1.1 Triángulo de potencias

En la Fig. 1.1 se observa el nivel de potencia S_1 que suministra la red eléctrica debido al $\cos \varnothing_1$ existente. En la Fig. 1.2 una vez instalada la batería (Q_{bat}), se observa la disminución de la potencia aparente S_2 demandada a la red. Por tanto, el $\cos \varnothing_2$ final, es mayor que el $\cos \varnothing_1$ inicial.

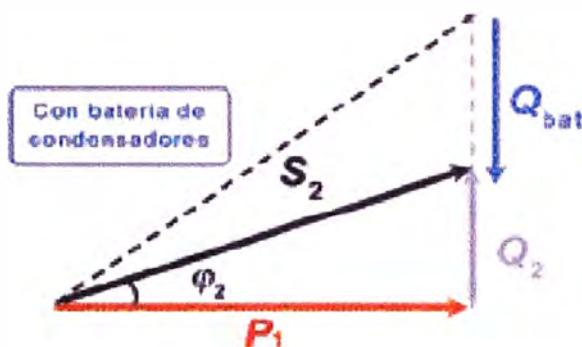


Fig. 1.2 Compensación de la energía reactiva.

Como ejemplos de equipos consumidores de energía reactiva, tenemos equipos como:

- Motores asíncronos y transformadores
- Variadores de frecuencia y arrancadores de estado sólido
- Lámparas de descarga
- Máquinas de soldar y
- Hornos de inducción

Por ejemplo en el caso de los transformadores y motores se requiere para la potencia de magnetización y en el caso de convertidores estáticos como potencia de mando y conmutación.

El transporte de potencia reactiva es antieconómico puesto que esta energía no puede ser transformada en energía utilizable. Si la empresa de distribución suministra la potencia reactiva origina una mayor caída de tensión en los generadores, transformadores, líneas de transmisión y cables subterráneos, originando pérdidas adicionales; con la ayuda de medios de compensación, que son capaces de aportar la potencia reactiva directamente junto a los consumidores, puede estabilizarse la tensión de la red y reducirse las pérdidas de transporte. Como se muestra en la siguiente Fig.1.3.

Como al incluir la batería o condensador y manteniendo constante la potencia entregada por la máquina eléctrica, disminuye la corriente de línea y por ende la potencia reactiva Q de la red.

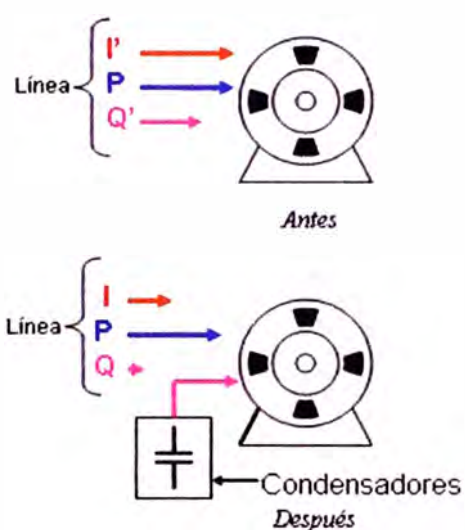


Fig 1.3 Comparación entre cargas no compensadas y compensadas.

Con lo cual la sub- estación de distribución puede entregar mayor corriente aumentando su capacidad de cargas; como se observa en la Fig. 1.4.

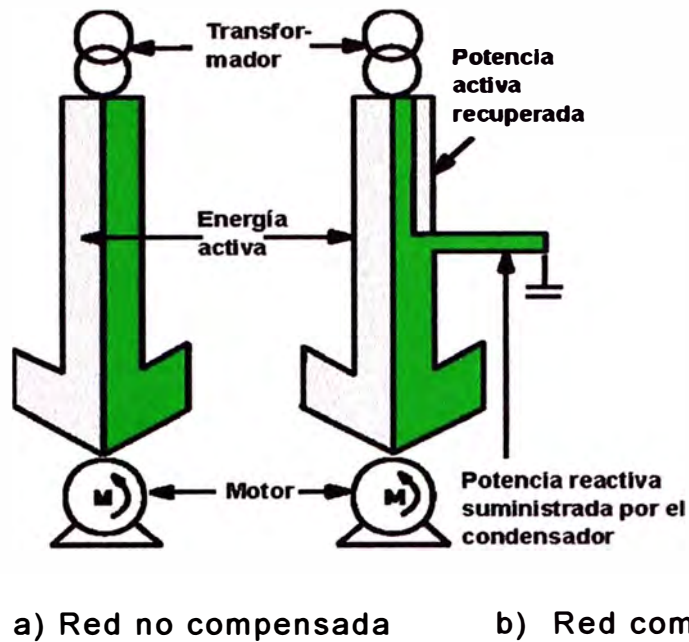


Fig.1.4 Flujo de potencia en redes de baja tensión.

Es por este motivo que las empresas distribuidoras de energía eléctrica motivan a sus clientes, que el valor del $\cos \phi$ de la instalación se mantenga en sus valores normalizados lo mas alto posible, en el caso del Perú es $\cos \phi$ 0.9. según CNE.

La razón de ser de la compensación de energía reactiva se basa en los siguientes aspectos:

- Optimización técnica de las instalaciones
- Reducción de la factura de energía eléctrica

Optimización técnica de las instalaciones

La instalación de una batería de condensadores reduce el consumo de potencia reactiva pedida a la red de distribución. Como consecuencia inmediata se obtienen los siguientes beneficios:

Mantenimiento de la potencia activa solicitada (P)

Reducción de la potencia aparente S pedida a la red de distribución

Pero, ¿cómo afecta la reducción de la disminución de potencia aparente en la optimización de la instalación?

Lo resumimos de una manera esquemática en la siguiente figura:

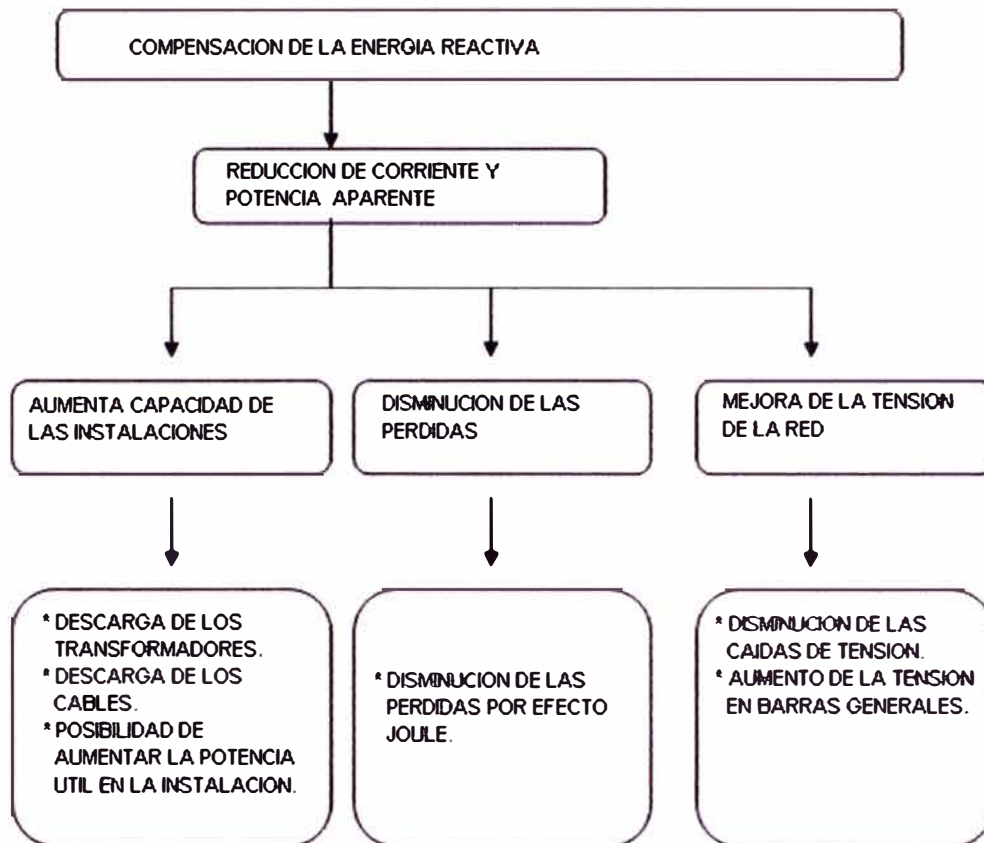


Fig. 1.5 Beneficios de la Compensación Reactiva.

Reducción de la factura de la energía eléctrica

Dado que su consumo encarece el costo de la energía. Dicho costo se puede repercutir de diferentes formas:

- Como energía reactiva no consumida.
- Como una penalización añadida sobre la facturación de potencia y energía activa.

Como consecuencia general, la compensación de la energía reactiva permite una optimización de las instalaciones existentes, aumentando el rendimiento de las mismas sin necesidad de la realización de inversiones adicionales.

1.2 Determinación de la potencia de los condensadores.

Midiendo la energía activa y reactiva en instalaciones ya existentes se puede calcular la potencia necesaria del condensador para obtener el factor de potencia deseado. También se pueden conectar durante cierto tiempo registradores de la potencia activa y reactiva para obtener información sobre el consumo de energía reactiva. Si se desea alcanzar un valor determinado del factor de potencia $\cos \varnothing_2$ en una instalación cuyo factor de potencia existente $\cos \varnothing_1$ se desconoce, se determina este con ayuda de un contador de energía activa, un amperímetro y un voltímetro. Existen diferentes métodos para realizar estas mediciones.

Cuando se van a realizar estudios del factor de potencia, es imprescindible contar con suficiente cantidad de datos, o en su defecto tomarlos en las instalaciones. Si el estudio es solo para propósitos de disminución tarifaria, es suficiente con la información de su factura para determinar los KVAR requeridos.

Como ejemplo, basándonos en la factura tenemos la siguiente información:

KW=497

KWH=73.968

KVARH=107088

A partir de los valores de los KWH y los KVARH se determina el factor de potencia:

$$\text{Tg } \varnothing_1 = \text{KVARH} / \text{KWH} = 107.088 / 73.968 = 1.45$$

Correspondiente a este valor de $\text{tg } \varnothing_1$ hay un valor de $\cos \varnothing_1$ de 0.6 y se desea tener un $\cos \varnothing_2$ de 0.9 que equivale a $\text{tg } \varnothing_2 = 0.48$.

$$\text{KVAR originales } \text{KW} * \text{tg } \varnothing_1 = 497 * 1.33 = 661$$

$$\text{KVAR mejorado } \text{KW} * \text{tg } \varnothing_2 = 497 * 0.48 = 239$$

Luego los KVAR necesarios para mejorar el factor de potencia son:

$$\Delta \text{KVAR} = \text{KW} (\text{tg } \theta_1 - \text{tg } \theta_2) = 0.497(1.33 - 0.48) = 422$$

En la Tabla 1.1 se indican los valores de $(\text{tg } \theta_1 - \text{tg } \theta_2)$ para un amplio rango de condiciones de operación. Considerando que en la primera columna de la izquierda se dan los valores iniciales y en la fila superior se indican los valores objetivos.

Tabla 1.1 Tabla para determinar la potencia del condensador para corregir el factor de potencia.

		cos θ_2	0.85	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00
		tan θ_2	0.62	0.48	0.45	0.42	0.39	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.00
cos θ_1	tan θ_1													
0.50	1.73		1.112	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
0.55	1.52		0.898	1.034	1.063	1.092	1.123	1.156	1.190	1.227	1.268	1.315	1.376	1.518
0.60	1.33		0.713	0.849	0.878	0.907	0.938	0.971	1.005	1.042	1.083	1.130	1.191	1.334
0.65	1.17		0.549	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169
0.70	1.02		0.400	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769	0.817	0.878	1.020
0.75	0.88		0.262	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.740	0.882
0.80	0.75		0.130	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750
0.85	0.62		---	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620
0.86	0.59		---	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.451	0.593
0.87	0.57		---	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567
0.88	0.54		---	0.055	0.084	0.114	0.144	0.177	0.211	0.248	0.289	0.336	0.397	0.539
0.89	0.51		---	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.262	0.309	0.370	0.512
0.90	0.48		---	---	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484
0.91	0.45		---	---	---	0.030	0.060	0.092	0.127	0.164	0.205	0.252	0.313	0.455
0.92	0.42		---	---	---	---	0.030	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426
0.93	0.39		---	---	---	---	---	0.032	0.066	0.103	0.144	0.192	0.253	0.395
0.94	0.36		---	---	---	---	---	---	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363
0.95	0.33		---	---	---	---	---	---	---	0.037	0.078	0.125	0.188	0.328
0.96	0.29		---	---	---	---	---	---	---	---	0.041	0.088	0.149	0.292
0.97	0.25		---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.047	0.108	0.251

En el presente ejemplo resulta, para un valor existente de $\cos \theta_1 = 0.6$ y uno deseado de $\cos \theta_2 = 0.9$, un factor $k = 0.849$.

En tal caso, la potencia del condensador necesaria es: $\Delta KVAR = KW * k$
 $= 497 * 0.849 = 421.9$ que es un valor bastante aproximado al ya calculado.

Se eligen los condensadores en los rangos existentes normalizados hasta completar la magnitud exacta inmediata superior, en nuestro caso 500 KVAR. Es oportuno destacar que en relación a los voltajes y tamaños de los condensadores, las diferentes fábricas producen equipos para los voltajes normalizados más utilizados por las empresas de electricidad, aunque también los fabrican para voltajes y tamaños especiales bajo especificación del cliente.

Sin embargo, los tamaños existentes en el mercado son muy numerosos y generalmente se fabrican tanto condensadores monofásicos como trifásico en incrementos de 5KVAR hasta 50KVAR, de 10KVAR hasta 100KVAR. Tamaños mayores requieren pedidos especiales.

En todo caso es importante destacar que la frecuencia de operación de los condensadores debe ser 60Hz, para el Perú.

Aún contando con la información de la factura, es deseable realizar mediciones preferentemente de KW, KVAR y voltaje tanto en circuitos alimentadores principales como en las cargas (en intervalos regulares de tiempo durante los períodos de operación de la planta), lo que nos permitiría diferenciar entre una compensación a nivel de planta una compensación para cargas individuales o una combinación de éstas.

Las mediciones de voltaje son muy importantes si se desea utilizar un control automático de regulación de condensadores.

Generalmente cada fabricante de condensadores produce determinado tamaño y para algunos voltajes. Lo mejor a la hora de la selección es solicitar los catálogos de las diferentes fábricas a fin de obtener el más conveniente para su tamaño y voltaje de operación. Las mediciones de voltaje son muy importantes si se desea utilizar un control automático de regulación de condensadores.

1.3 Localización de los condensadores.

En sistemas de 240 a 600 voltios, siempre que sea posible, los condensadores deben ser localizados en o cerca de las cargas a fin de obtener el mínimo costo y los máximos beneficios.

Sin embargo, los condensadores pueden ubicar en 3 niveles diferentes; en el caso de motores sincrónicos, no es fácil lograr esta flexibilidad; usualmente los motores sincrónicos son de gran potencia y no son económicos para la operación a 240 o 480 voltios, que es el voltaje común en las plantas industriales. Sin embargo siguen vigentes los principios ya mencionados, esto es corrección a la carga cuyo factor de potencia se desea mejorar.

1.3.1. Compensación Individual

La compensación individual es rentable sobre todo en motores grandes con operación continua y en transformadores. En la mayoría de estos casos, los condensadores se pueden conectar al equipo sin necesidad de aparatos de maniobras ni fusibles, y se maniobran y protegen junto con él.

VENTAJAS

Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva. La corriente reactiva I_r se abastece en el mismo lugar de su consumo y por ello descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW.).

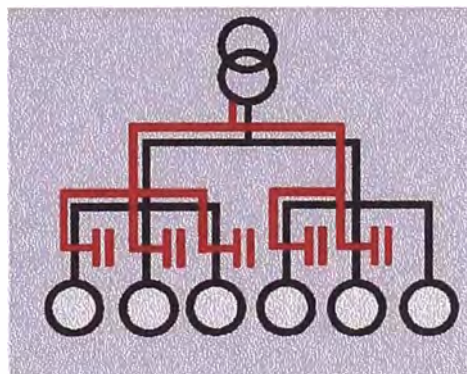


Fig. 1.6. Compensación reactiva individual

Compensación en Transformadores.

Como se ha visto anteriormente la compensación en una instalación puede permitir el disponer de una potencia suplementaria en bornes del transformador. Si se deseará compensar la energía reactiva de los equipos más las pérdidas inductivas del transformador en baja tensión. Por ejemplo, si se tiene un suministro contratado en media tensión se compensa con un banco de condensadores en el lado de baja tensión del transformador de tal manera que la instalación quede sobrecompensada. lo que originan aumentos de tensión, que se pueden calcular en forma aproximada de la siguiente manera:

$$U = \frac{U_k \cdot Q_c}{KVAN} \quad (1.2)$$

$U =$ El aumento de tensión en % de la tensión nominal del transformador.

$U_k =$ Es la tensión de cortocircuito del transformador, en %

$Q_c =$ Es la potencia nominal del condensador en KVAR

$KVAN =$ La potencia nominal del transformador, en KVA.

Para una tensión de cortocircuito del transformador $U_k = 6\%$ y para una compensación del transformador del 100% de potencia capacitiva, resulta un aumento de la tensión del 6%. Estos aumentos de tensión son generalmente reducidos y en algunos casos no se consideran.

Compensación de motores con arrancador. Si el motor arranca con ayuda de algún dispositivo especial, tal como resistencias, inductancias, estrella triangulo o autotransformador, es recomendable que los condensadores sean conectados después del arranque del motor. Por esta razón no se deberá realizar una compensación fija y se utilizarán condensadores accionados por contactores como se muestra en la Fig. 1.7.

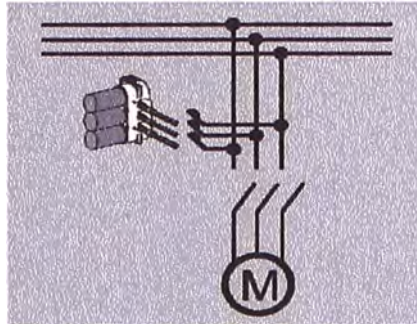


Fig 1.7 Conexión de un condensador a un motor mediante contactor.

En este caso, el condensador está conectado a la red a través de un contactor el cual impide la autoexcitación, y las conexiones en oposición de fase. Durante el arranque del motor (conexión estrella) es ya efectiva la potencia total del condensador. Para descargar este después de la desconexión hay que incluir un dispositivo de descarga. Para los condensadores con potencia de hasta 50KVAR aproximadamente se utilizan resistencia óhmicas de descarga, y para los condensadores con potencias superiores, bobinas de reactancia.

1.3.2 Compensación por grupos

Cuando hay un grupo de equipos conectados conjuntamente, se pueden tomar los condensadores en lugares apropiados, por ejemplo, en un tablero de compensación y para evitar que se produzcan sobrecompensaciones, los equipos y los condensadores tienen que estar conectados conjuntamente como se muestra en la Fig.2.4. En este caso es conveniente realizar un análisis más detallado para definir los grupos y forma de compensación según las características de operación de la industria.

VENTAJAS

Suprime las penas por un consumo excesivo de energía reactiva,

Optimiza una parte de la instalación, la corriente reactiva no se transporta entre los niveles 1 y 2, descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).

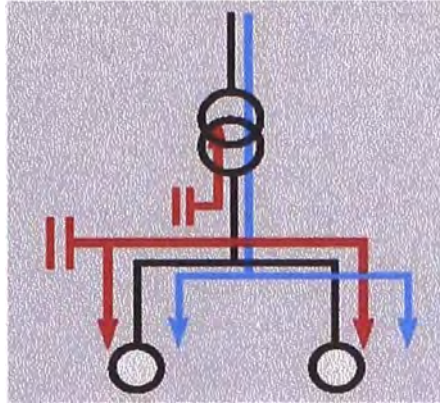


Fig. 1.8. Compensación reactiva por grupos

OBSERVACIONES La corriente reactiva (I_r) está presente en la instalación desde el nivel 2 hasta la compensación parcial. Las pérdidas por efecto Joule en los cables disminuyen.

1.3.3 Compensación central con sistema de regulación

Cuando hay un gran número de equipos de potencias diferentes y conexión variable, resulta muy apropiada la compensación central con un sistema de regulación a fin de mantener constante el factor de potencia de la instalación. Ver Fig. 1.9

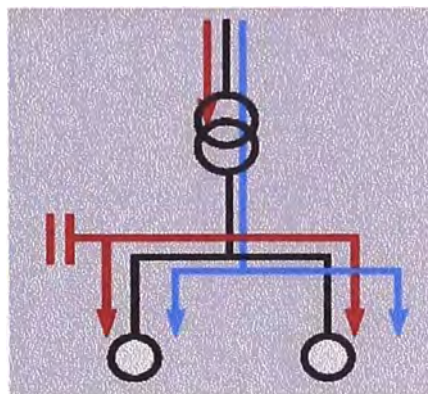


Fig. 1.9. Compensación central.

Cuando la compensación se efectúa centralmente se facilita los trabajos de mantenimiento, al contrario de lo que ocurre en la compensación individual en donde los condensadores están distribuidos por separado.

1.4 Determinación del tipo de baterías de compensación.

En esta sección se determina la forma y la potencia de las baterías a instalar. Básicamente existen dos posibilidades

Batería estándar; esta equipada con condensadores con tensión y potencia adecuados a la tensión de la red.

Batería con filtros; equipadas con condensadores dimensionados en tensión y potencia con reactancias sintonizadas en serie para cada escalón, presentando dos objetivos en caso de existencia de armónicos en la red:

- Protección de los condensadores.
- Evitar el fenómeno de amplificación de los armónicos existentes.

Para facilitar la selección, se adjunta un organigrama resumen.

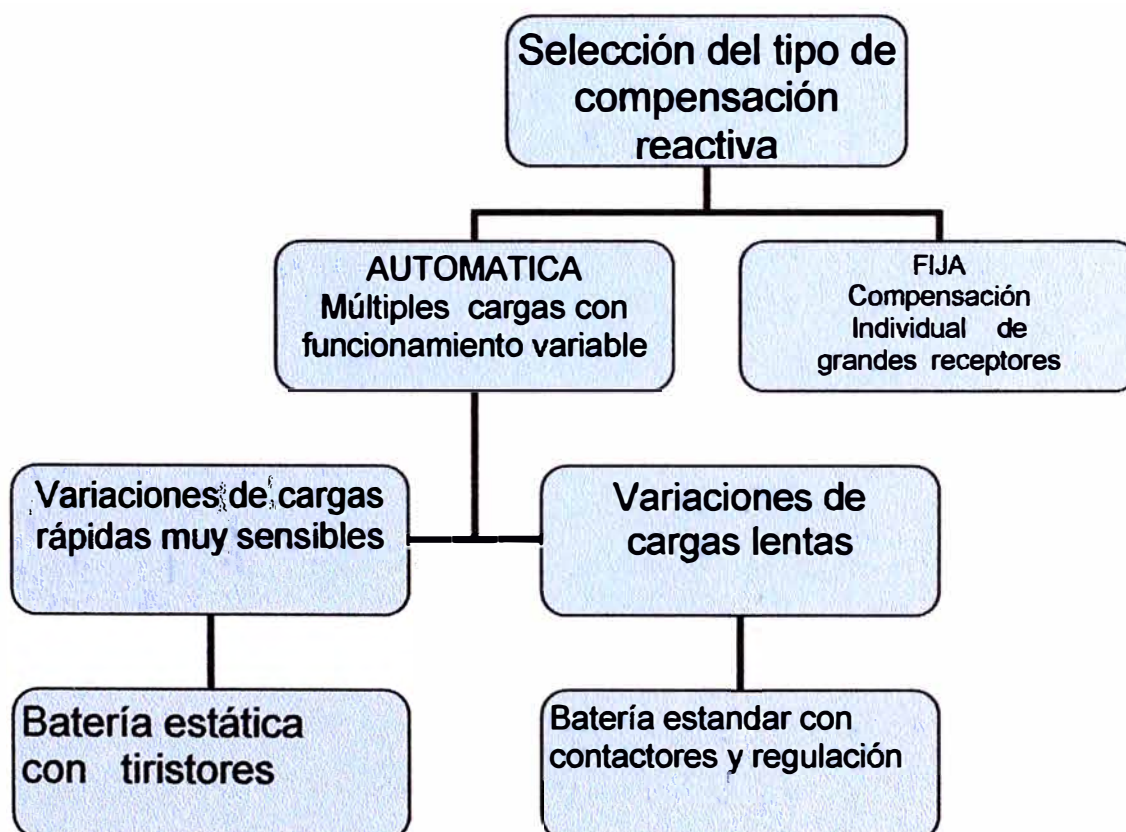


Fig. 1.10. Selección del tipo de compensación reactiva

CAPITULO II

DISEÑO Y FABRICACION DE LOS TABLEROS DE COMPENSACIÓN REACTIVA

2.1.- Consideraciones técnicas para la fabricación de los tableros eléctricos

Los tableros serán fabricados en plancha de fierro laminada al frío de 1/16" ó 3/32" de espesor dependiendo de las dimensiones totales del tablero las superficies son sometidas a acondicionamiento profundo con compuesto fosfatizante y pintado con doble capa de base anticorrosivo epóxica y doble capa de esmalte de secado al horno. Tendrán protección contra el polvo mediante sello de goma de neopreno en las puertas. Las puertas de acceso serán frontales montadas sobre bisagras del tipo pin; llevan chapa del tipo cremona para el tablero autosoportado y del tipo moneda para los tableros murales.

Los valores de distancia de asilamiento en el interior de los tableros serán superiores a las distancias mínimas normalizadas. Se dispondrán los aisladores de manera que las barras disten entre si 60mm. Como mínimo. Las barras de distribución serán pulidas y pintadas con los colores rojo, blanco y negro de izquierda a derecha ó de adelante hacia atrás, asumiendo. Los aisladores portabarras serán del tipo araldit, con aislamiento para 1KV o 1.5 KV y podrán soportar una tensión mecánica de hasta 750, 1,000 ó 1,500 Kg. según lo requerido. Todos los pernos, tuercas, anillos, tornillos serán recubiertos con un baño electrolítico de zinc. (zincado y en algunos casos cromados)

Los elementos de protección y control tales como bases portafusibles, contactores, transformador de control, transformador para medición, serán montados sobre falsos fondos desmontables del tablero llamados mandil, todos tendrán una disposición vertical.

Los condensadores van sobre estructuras de ángulos dispuestas en el interior de los tableros.

Por recomendación de los fabricantes se debe dejar un espacio mínimo de 30mm. Entre dos condensadores para una correcta refrigeración de los equipos. Los tableros Irán provistos de ventilación natural, mediante la instalación de ventanas de plancha de hierro perforadas, las cuales Irán dispuestas a los costados de cada tablero.

Todos los cables a utilizar como puentes se conexión entre los diferentes elementos serán dimensionados para 1,3 In. Puesto que las carcasas de los condensadores son metálicas, cada tablero tendrá dispuesto un Terminal para toma de tierra.

En la Fig. 2.1 se muestra una disposición donde por motivos de reducción de materiales y aumento de la disipación térmica, los condensadores van dispuestos en la parte inferior del tablero y la parte de control y protección en la parte superior.

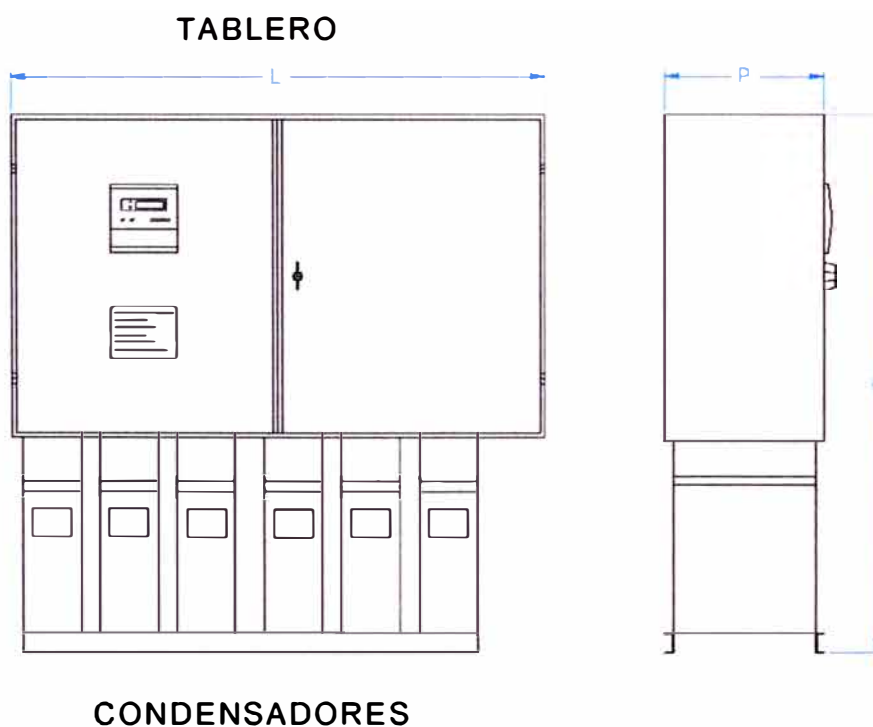


Fig. 2.1 Disposición física de una batería de compensación reactiva de hasta 06 pasos y mediana potencia.

2.2 Diseño, diagramas unifilares y de control de los tableros.

Nos permite observar el conexionado tanto del circuito de control para definir la disposición de los condensadores en la batería. En la figura 2.2 se observa hacia el lado izquierdo las tres fases L1, L2 y L3 las cuales a través del transformador de corriente TA1 alimenta al regulador y en la parte inferior la alimentación de los contactores que definen los pasos de las baterías. En la parte superior el regulador de 12 pasos o etapas.

For three-phase systems

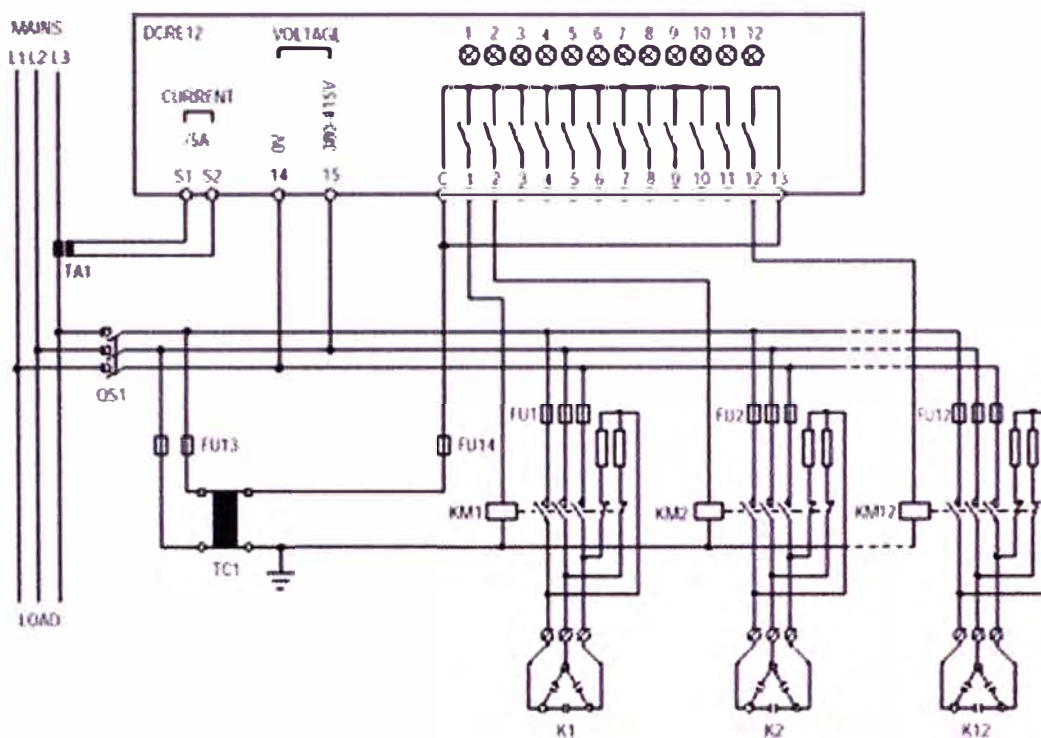


Fig. 2.2 Diagrama unifilar de una batería automática con un regulador electrónico de doce pasos.

2.3 Elementos de Protección.

Para la protección contra cortocircuitos se usan por lo general fusibles del tipo NH, estos serán del tipo cuchilla, el cual está formado por una base de poliéster fibra de vidrio en una sola pieza y las pinzas de contacto son de cobre plateado.

El fusible tiene cuerpo de cerámica, en su interior está lleno de arena aislante dentro del cual está incluido el elemento conductor y fundente. Sobresalen al cuerpo de porcelana 2 cuchillas de cobre de 100 A. que

son las que se conectan a la base. Estos fusibles son para funcionamiento de régimen de hasta 500V, con un poder de corte de 100 KA, para una temperatura ambiental de 60° C, a nivel del mar. La curva característica de funcionamiento será del tipo gl (uso general) que presentan curvas de succión lentas y soportan puntas de corrientes sin fundirse. De uso difundido en la industria.

2.3.1 Dimensionado de los elementos de instalación y protección

Debido a las posibles corrientes armónicas y a las tolerancias de fabricación, sobre la capacidad de los condensadores, la cubierta de protección de condensadores debe sobredimensionarse un 43%.

El dimensionado de los cables, de la aparamenta de maniobra y protección, aguas arriba de la batería, depende de la corriente absorbida por la batería.

Para las baterías de condensadores, la corriente absorbida es función de:

- La potencia.
- La tensión aplicada.
- Los armónicos de la red.

La corriente nominal de un condensador es:

- Para una red trifásica:

$$I_n = \frac{Q}{\sqrt{3} U_n} \quad (2.1)$$

Donde: I_n = Intensidad nominal (A).

Q = Potencia del condensador (VAr).

U = Tensión compuesta (V).

U_0 = Tensión simple (V).

Las variaciones admisibles de la tensión y los posibles armónicos de la red pueden producir un incremento del 30% de la corriente nominal.

Las variaciones de la potencia de los condensadores, consecuencia de las tolerancias de fabricación, que por normativa pueden llegar hasta un 15 % de incremento de la intensidad.

En el caso de los condensadores Varplus de Schneider Electric (6) y en la mayoría de fabricantes, el incremento por tolerancia máximo es del 10%. La suma de los dos parámetros puede llegar a valores de $1,3 \cdot 1,10 = 1,43 I_n$.

El dimensionado de un 50% de incremento de las instalaciones, aguas arriba de una batería, corresponde a una temperatura ambiental de 50 °C. En caso de otras temperaturas se debería efectuar un estudio de corrección.

Las protecciones

- Protecciones externas:

La conexión de condensadores es equivalente al cierre en cortocircuito: durante el tiempo de conexión, lógicamente disminuyendo en función de la carga, por tanto un transitorio durante el tiempo de carga.

- La corriente de cresta, para un condensador, en estas condiciones será:

$$I_p = U \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{C}{L_0}} \quad (2.2)$$

– Para un condensador unitario, la impedancia aguas arriba se limita a la impedancia de los conductores, transformadores..., que limita la corriente aguas arriba.

– Por una batería automática de condensadores, en el momento que conectamos un escalón nuevo, aparte de la corriente de carga proveniente de la fuente de alimentación, se suma una corriente de descarga, muy importante, de los demás escalones ya conectados y cargados.

v El valor de cresta de la corriente que circula en el escalón nuevo puede llegar a:

$$I_p = U \frac{n}{n+1} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{C}{L_0}} \quad (2.3)$$

Donde:

I_p = corriente de cresta de conexión.

U = tensión de la red.

n = numero de escalones bajo tensión.

C = capacidad de un escalón.

L_0 = inductancia de cortocircuito de la red.

L = inductancia de las conexiones del juego de barras al condensador.

Por normativa esta corriente de cresta debe ser inferior a $100 I_{ne}$ (escalón). Para poder disminuir I_{ne} se deben instalar bobinas de choque (consultar al fabricante de la batería). Hoy en día, existen contactores con bobinas de choque incorporadas, capaces de limitar las corrientes a $80 I_n$, como el caso de los contactores utilizados en las baterías de Merlin Gerin. Los interruptores automáticos y los fusibles de protección deberán poder absorber las corrientes de cresta sin desconectar.

Para los interruptores automáticos su desconexión instantánea debe ser superior a $12 I_n$ y su capacidad de cierre debe ser superior a la intensidad de cortocircuito de la red, en su punto de conexión.

Sección de los conductores

La corriente de empleo debe ser $1,5 I_n$, la corriente nominal del condensador. Las tablas de fabricantes permiten definir las secciones del conductor.

De forma orientativa, podemos definir las secciones de los conductores:

- Condensadores alimentados a 400 V: cables capaces de soportar 2 A por kVAr.
- Condensadores alimentados a 230 V: cables capaces de soportar 3,5 A por kVAr.

Protección de condensadores

Para los condensadores Varplus, la tolerancia sobre el valor de la capacidad es inferior o igual al 10%. El incremento de la corriente, en función del incremento de la tensión y con la acción de las corrientes armónicas, a un valor del 30%, nos lleva a un valor conjunto de:

$$13 \cdot 110 = 1,43 I_n$$

La corriente de empleo I_b , utilizada para determinar la corriente asignada del dispositivo de protección, será $1,43 I_n$, tanto para los condensadores estándar o los sobredimensionados de Merlin Gerin.

Los catálogos de la marca de Schneider Electric dan las tablas de elección y regulación de la cubierta para la utilización de protección de condensadores, para una temperatura de trabajo de 50 °C, en función de la potencia y la tensión de la batería de condensadores.

Un extracto de estas tablas las reflejamos en el cuadro siguiente:

Tabla 2.1 Dimensionado de interruptores automáticos para la protección de baterías.

Redes trifásicas 400 V		
Potencia batería kVAr	Interruptor automático	Calibre o I _r (A)
100	C 250 N/H/L	D200
	C400 N/H/L ST204S	200
120	C 250 N/H/L	D250
	C400 N/H/L ST204S	240
140	C 401 N/H/L	D321
	C400 N/H/L ST204S	280
	C630 N/H/L ST204S	285

Ejemplos:

Condensador 100 kVAr. a 400 V trifásico.

Intensidad nominal del condensador (batería).

$$I_r = \frac{100.000 \text{ VAr}}{1.732 \times 400} = 145\text{A} \quad (2.4)$$

Intensidad de empleo:

$I_b = 1.43 \cdot 145 \text{ A} = 207 \text{ A}$. Ateniéndonos a la tabla adjunta podemos elegir entre un C250 N/L calibre D200 o un C400 N/H/L ST240S 200 A.

2.3.2. Recomendaciones de instalación

Dimensionado de los cables:

Sección del cable de conexión de los transformadores de intensidad:
2,5 mm² como mínimo.

Dimensionado de los cables de potencia:

- Prever 3,5 A por kVAr a 230 V y 2 A por kVAr a 400 V.

Conexión del TI (circuito de medida de intensidad):

- Verificar que el transformador de intensidad esté instalado aguas arriba de la batería y de todas las cargas.
- Identificar una de las fases como fase 1.

Verificación de la correcta conexión de la fase 1 de la batería. Cerciorarse que la fase 1 de la batería es la que lleva conectado el transformador de intensidad. En caso de duda, conectar un voltímetro entre el borne L1 del equipo y la fase donde está el transformador de intensidad. Como se muestra en la Fig. 2.3

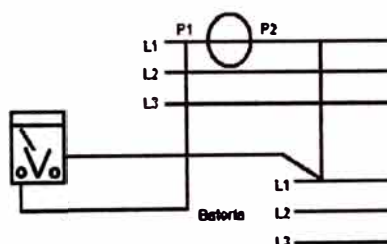


Fig 2.3 identificación de la misma fase con un voltímetro.

El voltímetro debe marcar 0 V; si no es así, cambie el TI a la fase adecuada, o mantenga el TI en su sitio y permute los cables de potencia de alimentación de la batería hasta alcanzar la posición deseada.

Conexión del TI a la batería; conecte los cables provenientes del TI en el regletero del equipo: S1 en el borne K y S2 en el borne L.

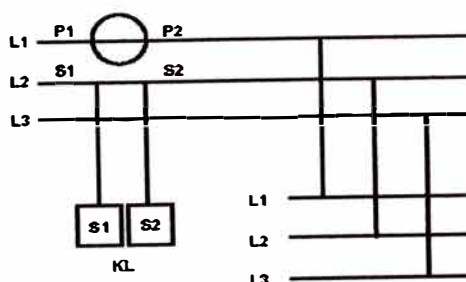


Fig. 2.4 : Forma de conexión del transformador de intensidad.

2.4.- Ajuste de parámetros del regulador electrónico de potencia reactiva.

La introducción del microprocesador brinda ventajas adicionales como las lecturas digitales, del factor de potencia y del número de etapas o escalones de condensadores que están conectados. El sistema de medida de la forma de onda es independiente de los sistemas armónicos. Esta característica es particularmente necesaria en instalaciones que tienen máquinas controladas por tiristores. Mediante el microprocesador se puede programar la forma de operación según los múltiples modo de operación que pone a disposición el fabricante. Los siguientes parámetros son los que se deben establecer

Ajuste del $\cos \varnothing$

Tiene un calibrador para el factor de potencia, el cual se lo ubica en el valor que uno determina. Tiene un rango que va desde 0.80 inductivo, pasa por 1 y va hasta 0.98 capacitivo.

Ajuste del C/K.

El relé necesita un segundo ajuste, que es el de sensibilidad, para lo cual se necesita conocer el valor del primer escalón en KVAR y la relación de transformación del transformador de corriente del cual toma la señal. Este ajuste se lo consigue a través de un selector rotativo que tiene un rango de 0.05-0.80. Los valores mas comunes de C/K en 400V son dados en una tabla que por lo general están adherida al relé.

Se calcula de la siguiente formula:

$$C/K = \frac{\frac{Q}{\sqrt{3} U_n}}{k} \quad (2.5)$$

Donde

Q = Potencia del primer escalón base en KVAR.

U_n = Voltaje del sistema en (Volt.).

k = Relación de transformación del transformador de corriente (X / 5).

Los reguladores proporcionan la posibilidad de ajuste automático del valor C/K bajo cualquier condición de carga de la instalación en base a su complejo sistema desarrollado. Además la filosofía adoptada permite discernir la dirección de la corriente en los 4 cuadrantes, pudiendo por

consiguiente distinguir la corriente procedente de la alimentación o la de un generador conectado a la red.

En la fig. 2.5 esta representando el significado del ajuste del C/K.

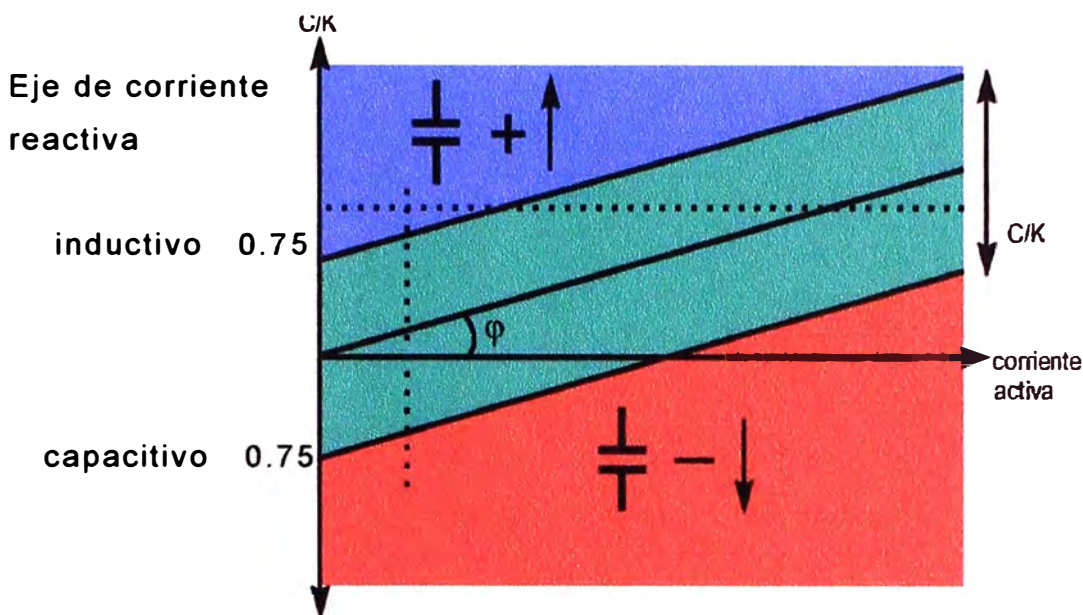


Fig. 2.5 Interpretación del ajuste C/K en un regulador de energía reactiva.

El eje X representa la intensidad activa de la instalación; el eje Y, la intensidad reactiva (inductiva en el semiplano positivo y capacitiva en el negativo), Se puede representar en este gráfico cualquier situación del $\cos \phi$ de la instalación como las coordenadas de un punto (X,Y) atendiendo a las componentes de intensidad activa y reactiva,

Se ha representado la línea cuya pendiente es la $\tan \phi$, siendo ϕ el ángulo para el $\cos \phi$ deseado. Como se ha visto anteriormente la batería no se puede ajustar exactamente a la demanda reactiva que existe en cada momento en la instalación, por eso se crea una **banda de funcionamiento estable** del regulador en la cual a pesar de que el $\cos \phi$ no sea exactamente el deseado no va a conectar ni desconectar más escalones; esa banda es el C/K; por encima de la banda C/K el regulador va a conectar escalones y por debajo los desconecta.

Un ajuste demasiado bajo del C/K implicaría un sobretrabajo inútil de los contactores; un C/K demasiado alto supondría una banda estable excesivamente ancha, y por lo tanto no se alcanzaría el $\cos \phi$ deseado, Los reguladores proporcionan la posibilidad de ajuste automático del C/K bajo cualquier condición de carga de la instalación, el ajuste

manual permite introducir valores de C/K desde 0,01 hasta 1,99 pudiendo visualizar en pantalla el valor ajustado.

Ajuste de tiempo y señal de insuficiencia.

Este ajuste del tiempo en los diversos escalones, se lo realiza con el potenciómetro incorporado. Esta regulación puede ser reducida hasta 5 seg. Por etapa, durante la prueba pero después de esta la regulación no ha de ser menos de 15 seg. Por escalón, el mayor tiempo regulable es de 70 seg. El relé también posee la señal luminosa LED que indica cuando una batería después de haber cerrado todos sus escalones, no alcanza el valor que ha sido regulado en el ajuste del cos Ø. Esta señalización puede ser desactivada si no es requerida.

2.5.- Cálculo de las inductancias de choque.

En el momento de la puesta en servicio de un condensador se produce la llamada corriente de cresta ó de arranque, la que puede cambiar de magnitud dependiendo de los siguientes factores:

Potencia de cortocircuito del sistema.

La potencia de la batería de condensadores ya conectada.

Los condensadores ya conectados en una misma batería automática.

Esta corriente de cresta se traduce por:

Para elementos fijos:

$$I_c = I_n \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{P_{cc}}{Q_c}} \quad (2.6)$$

En un enésimo escalón

$$I_c = \frac{n \cdot V \cdot \sqrt{2}}{n + 1 \cdot \sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (2.7)$$

Donde:

I_c = corriente de cresta-

I_n = corriente nominal del condensador.

P_{cc} = potencia de cortocircuito de la red en KVA.

Q_c = potencia de la batería en KVAR.

N = número de escalones conectados.

C = capacidad en uf.

L = inductancia de conexión de un escalón a las barras en henrios.

Esta I_c puede alcanzar en las baterías automáticas un valor a 200 veces la corriente nominal del escalón conectado. Por eso deberá ser limitada a $100 I_n$ como máximo. Mediante empleo de inductancias de choque.

Estos fenómenos transitorios perfectamente dominados han sido objeto de estudios particulares dentro del campo de la elección de protecciones y maniobra, los cuales deben:

- Ser concebidos para maniobrar y proteger los condensadores.
- Estar previstos para apertura y cierre brusco.
- Soportar corrientes transitorias del orden de $100 I_n$.

De manera que para preservar la duración de vida de los contactores y de los condensadores hay que limitar la I_n .

2.6 Verificación de las condiciones de las conexiones

Antes de poner en servicio, siempre será necesario verificar que todas las condiciones para el funcionamiento correcto de los equipos están bien realizadas, tales como la comprobación de la secuencia de fases, que el transformador de corriente este ubicado en la fase R, que la polaridad esté bien conectada. El ajuste apropiado de las conexiones es fundamental porque en estos tableros se disipara mucho calor y las conexiones tenderán a aflojarse. Será necesario luego de 1 mes de funcionamiento realizar un reajuste integral de las conexiones.

Como en todas las conexiones eléctricas y esta en particular, las conexiones flojas llegaran a estropear elementos de los tableros, lo que resulta en reparaciones onerosas. Se deben emplear conductores de cobre que tienen un coeficiente de dilatación menor que el del aluminio y por lo tanto se aflojan menos.

En lugares de mucha producción de polvo ambiental es indispensable regularmente tener un programa de limpieza y mantenimientos de los tableros. Periódicamente se deberá realizar limpieza con aire comprimido a cada elemento y en particular a los que tienen partes móviles, como los contactores.

2.7. Verificación de los parámetros eléctricos antes y después de la operación de los equipos.

Con el fin de ver los efectos que producen la entrada de condensadores en el sistema eléctrico se deben tomar previamente lecturas de voltajes, amperaje y factor de potencia. Es importante verificar que el voltaje de operación no sea superior al 10% del voltaje nominal de los condensadores. Por ejemplo, para un voltaje es 470 voltios, lo cual es solo el 6,8% superior a 440V. Tensiones mayores pondrían en peligro la durabilidad de los elementos ya que la corriente absorbida por los condensadores se incrementa notablemente lo que puede provocar un peligroso sobrecalentamiento, con el consiguiente peligro de perforación del dieléctrico. Es necesario también prever que en el momento de la conexión pueden ocurrir sobre-tensiones de corta duración debido a la elevada corriente inicial transitoria, aunque se hayan previsto inductancias de choque. Por lo tanto cuando en un sistema existen equipos electrónicos sensibles es necesario que estén protegidos contra esta posibilidad.

2.8.-Verificación de la temperatura ambiental y descarga de los condensadores cuando se le quita la energía.

Para asegurar un periodo normal de vida de los condensadores se debe estar seguro de que la temperatura circundante no exceda los 40° C. (35° C. como promedio diario). Es necesario medir la temperatura antes y después de que se energicen los tableros. Se debe evitar todos los calentamientos externos desfavorables, como por ejemplo: una radiación solar intensa o fuentes de calor cercanas como calderos, etc. Aparte de los condensadores otros elementos del tablero como: los contactores, fusibles, cables, podrían ser afectados por el exceso de temperatura. Ventilación forzada por medio de extractores pueden utilizarse. Cuando se abre un contactor y el condensador queda sin energía, este puede conservar una carga residual, dependiendo del instante en que se produce la desconexión. Sin embargo, puesto que los condensadores están provistos internamente de resistencias para descarga, la carga residual se disipa a través de estas. De todas maneras hay verificar que estas resistencias están haciendo su trabajo por seguridad del personal de mantenimiento.

CAPITULO III

ELEMENTOS DE LAS BATERIAS AUTOMATICAS.

Los componentes esenciales de una batería de compensación reactiva son:

- Los condensadores; cuya cantidad esta relacionada con el número de pasos.
- Un regulador de la potencia reactiva, que mide a través de transformadores de intensidad, el consumo de potencia reactiva es la acometida, y transmite las órdenes de conexión o desconexión a los contactores de maniobra de los condensadores.
- Fusibles para las derivaciones de los condensadores.
- Contactores de refasamiento para maniobrar los condensadores.
- Un dispositivo para descargar los condensadores una vez desconectados de la red. Como resistencias de descargas que actualmente se incorporan en los bancos de condensadores y en los contactores.

En el caso de regulación automática, el regulador de potencia reactiva conecta automáticamente los condensadores. Cuando la carga es aproximadamente simétrica, el regulador mide la potencia reactiva es un conductor activo, y si la carga es asimétrica, en los tres conductores activos. Los reguladores de potencia reactiva se conecta a través de transformadores de intensidad. Con relación al sentido de flujo de la energía, dicho transformadores deben estar situados por delante del sistema de regulación.

Vamos a enumerar la oferta de Schneider Electric en esta oportunidad para describir las características de estos equipos.

3.1. Características de los Condensadores

Los condensadores Varplus M de Merlin Gerin cubren una extensa gama de tensiones (230 V a 690 V) y de potencias, a partir de un reducido número de referencias. Su diseño modular permite el ensamblaje de distintos elementos para conformar potencias superiores.

Tecnología

La utilización de una película de polipropileno metalizado evita la necesidad de cualquier impregnante, proporcionando la ventaja de la autocicatrización. El sistema de protección HQ, que integra los elementos de condensadores monofásicos, avala la seguridad de su utilización al protegerlos frente a los dos tipos de defectos que pueden precipitar el fin de su vida:

- Los defectos de elevada intensidad; se realiza con un fusible interno de alto poder de corte.
- Los defectos de baja intensidad; se realiza con la combinación de una membrana elástica asociada a los bornes del fusible interno APR. Para ambos defectos es un fusible APR normalizado el que asegura el corte del circuito eléctrico.

La envolvente plástica de los condensadores Varplus M posee doble aislamiento eléctrico y ofrece unas excelentes propiedades mecánicas y una máxima autoextinguibilidad (certificación UL 94 5 VA).



Fig 3.1 Condensadores Varplus M1 & M4.

1. El proceso de la autocicatrización permite despejar el defecto por evaporación del metalizado de la zona.

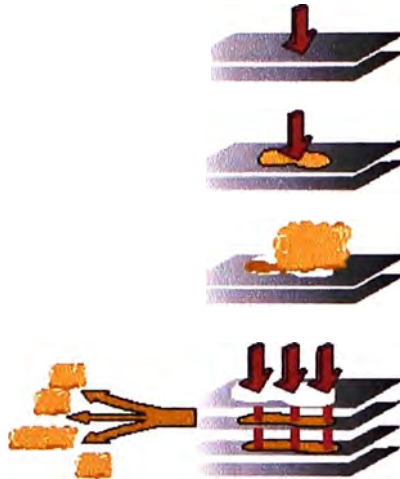


Fig. 3.2. Función de protección.

2. El proceso hacia el fin de la vida del condensador puede implicar un aumento de la temperatura y presión en el interior del bote. En este momento el sistema HQ empieza a actuar.

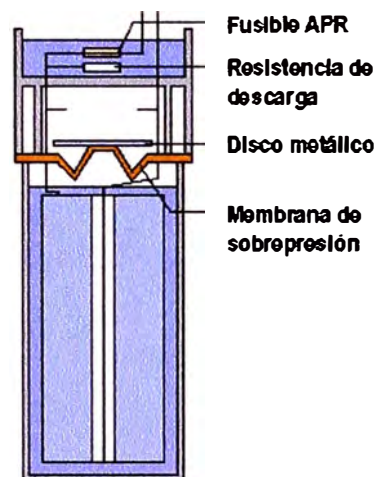


Fig. 3.3 Elementos del condensador.

3. Corte de un elemento monofásico que muestra el sistema de protección HQ, formado por la actuación combinada de la membrana de sobrepresión que actúa por medio de un disco metálico, cortocircuitando el fusible interno y desconectando el elemento monofásico.

Ejemplo de ensamblajes de condensadores Varplus M1-M4 (400 V)

La gama de condensadores modulares Varplus M esta compuesta por condensadores Varplus M1 y Varplus M4, los cuales con distintas combinaciones cubren potencias desde 5 a 100 kVAr.

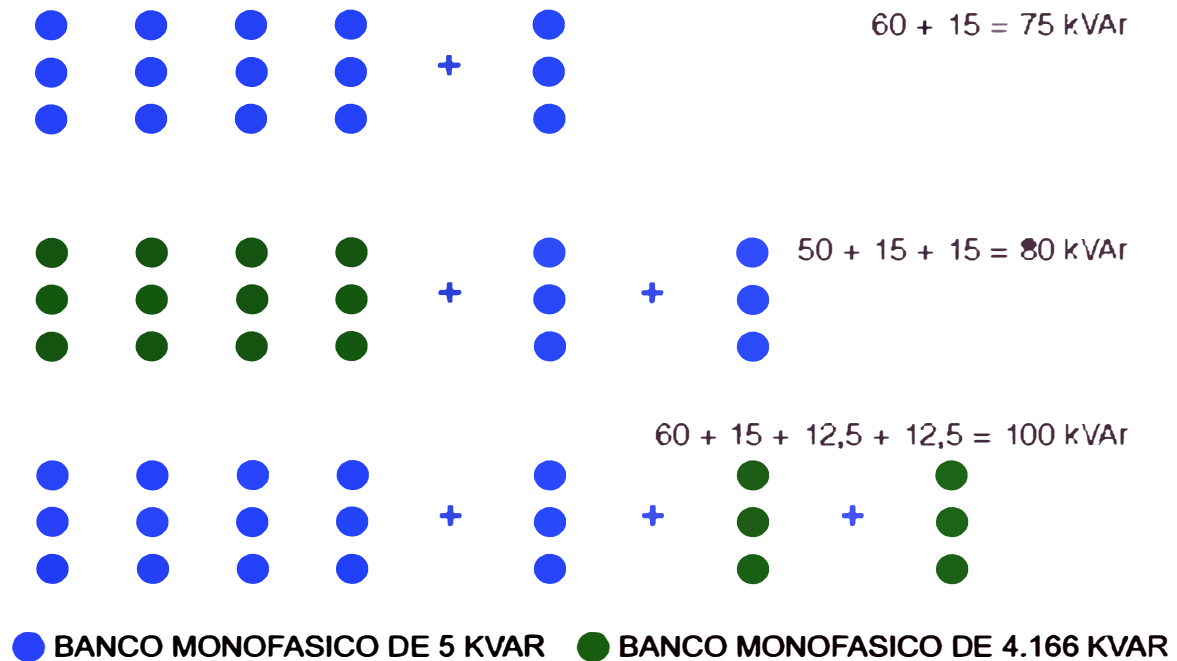


Fig. 3.4 Diagrama de diferentes ensamblajes de condensadores.

Se observan los arreglos de condensadores dispuestos en el primer arreglo se tiene un grupo de doce condensadores de cinco kVAr y un grupo de tres condensadores de 5 kVAr; en el segundo arreglo se tiene un grupo de doce condensadores de 4.166 kVAr y dos grupos de tres condensadores de 5 kVAr. y finalmente en el tercer arreglo se tiene un grupo de 12 condensadores de 5 kVAr, un grupo de 3 condensadores de 5 kVAr. con dos grupos de 3 condensadores de 4.166 kVAr.

Características técnicas:

- Tensión nominal: 400 V, trifásica 60 Hz
(otras tensiones: 230 V, 460 V, 525 V, 550 V, 660 V).
- Potencias máximas de ensamblaje (400 V):
 - Varios Varplus M1 = 50 kVAr.
 - Varplus M4 con Varplus M1 = 100 kVAr.
- Tolerancia sobre el valor de la capacidad: 0 + 10%.
- Clase de aislamiento:
 - Resistencia a 50 Hz, 1 minuto a 6 kV.

- Resistencia a onda de choque 1,2/50 μ s, 25 kV.
- Intensidad máxima admisible:
 - Tipo estándar 1,3 In (400 V).
 - Clase "H": 1,5 In (400 V).
- Tensión máxima admisible (8 h cada 24 h, según CEI 831):
 - Tipo estándar: 450 V.
 - Clase "H": 520 V.
- Resistencia de descarga: incorporada, interiormente, en cada elemento monofásico..
- Pérdidas: 0,3 W/kVAr (incluyendo las pérdidas en las resistencias de descarga).
- Categoría térmica a 400 V:

Tabla 3.1 Temperaturas máximas admisibles en los condensadores.

Temperatura			
Potencia kVAr	Máxima	Medida más alta durante el periodo de	
		24 horas	1 año
< 65	55 °C	45 °C	35 °C
67 a 69	50 °C	40 °C	30 °C
92 a 100	45 °C	35 °C	25 °C

- Temperatura mínima ambiental: -25 °C.
- Color:
 - Zócalo y accesorios RAL 9002.
 - Cuba RAL 9005.
- Normas: CEI 831 1/2, UNE EN-60831 1/2, NF C 54-104, VDE 0560-41, CSA 22-2 n.o 190, UL 810.
- Instalación: montaje sobre soporte vertical (eje de los botes horizontal).

3.2. Características de las baterías automáticas

Las baterías automáticas permiten adaptarse a las variaciones de la demanda de reactiva, en función de la programación realizada en el regulador. Están formadas por:

- Condensadores Varplus M1/M4.
- Contactores específicos para el mando de condensadores.
- Reguladores de reactiva Varlogic R6 o R12.
- Fusibles de protección.

La gama se estructura en tres modelos:

- Estándar: para su instalación en redes no polucionadas por armónicos.
- Clase "H": para redes débilmente polucionadas.
- Equipos SAH para redes muy polucionadas.

Características técnicas:

- Tensión nominal: 400 V, trifásica 60 Hz. (otras tensiones bajo consulta).
- Tolerancia sobre el valor de la capacidad: 0 + 10%.
- Clase de aislamiento:
 - 0,66 kV.
 - Resistencia a 60 Hz 1 minuto, 2,5 kV.
- Intensidad máxima admisible:
 - Tipo estándar: 1,3 In (400 V).
 - Clase "H" 1,5 In (400 V).
- Tensión máxima admisible (8 h cada 24 h conforme a CEI 831):
 - Tipo estándar: 450 V.
 - Clase "H" 520 V.
- Categoría de temperatura ambiental a (400 V):
 - Temperatura máxima 40 °C.
 - Temperatura media en 24 h 35 °C.
 - Temperatura media anual 25 °C.
 - Temperatura mínima -25 °C.

- Índice de protección:
 - Estándar y clase "H" IP 31.
 - SAH, IP 21 (Rectimat SAH).
 - IP 54 opcional en baterías Prisma.
- Color:
 - Rectibloc, RAL 7032.
 - Minicap y Prisma color beige Prisma RAL 1019.
 - Rectimat V, RAL 7032 y RAL 7015.
- Normas CEI 439-1, UNE EN-60439-1.

Esquema tipo de conexión baterías automáticas

C1, C2..., Cn, condensadores.

KM1, KM2..., KMn, contactores.

FU21: fusibles de protección circuito de mando.

Bornas KL: bornas entrada TI.

Bornas AB: bornas alimentación auxiliar a 220 V, 60 Hz.

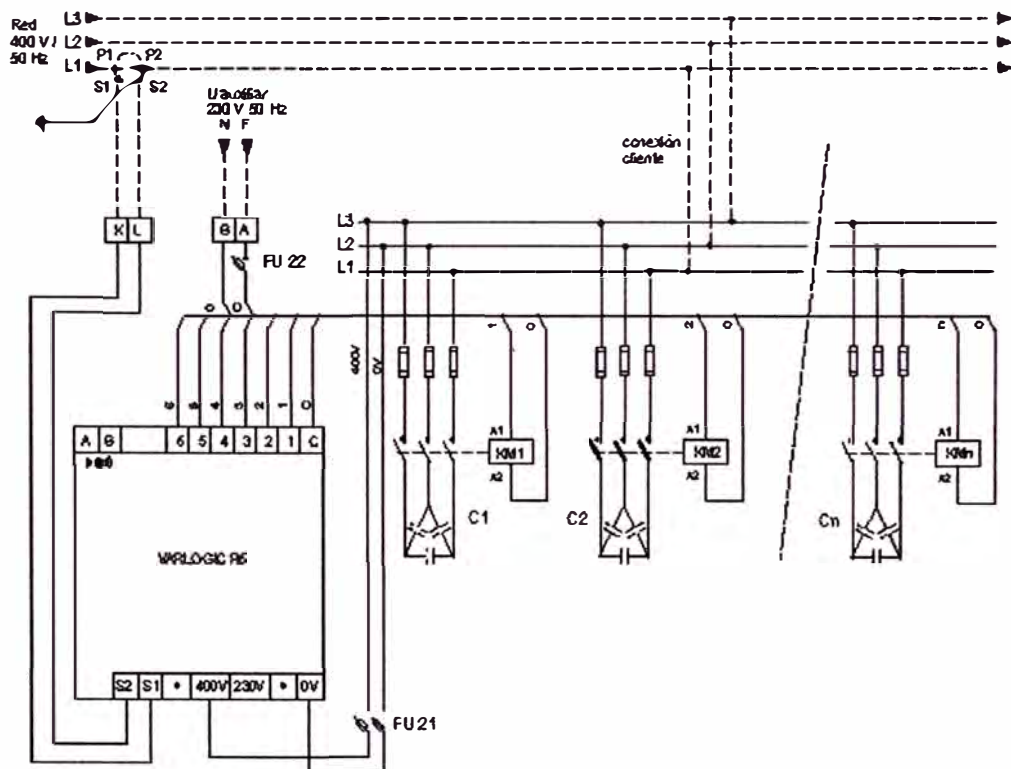


Fig. 3.5: Esquema de conexión batería Rectimat V.

3.3. Características de los reguladores electrónicos.

Los reguladores Varlogic controlan constantemente el $\cos \varnothing$ de la instalación, dan las órdenes de conexión y desconexión de los escalones de la batería, para obtener el $\cos \varnothing$ deseado.

-La gama Varlogic está formada por tres aparatos:

- Varlogic R6: regulador de 6 escalones.
- Varlogic R12: regulador de 12 escalones.
- Varlogic RC12: regulador de 12 escalones con funciones complementarias de ayuda al mantenimiento.

Características técnicas:

Datos generales:

- Precisión 2,5%.
- Temperatura de funcionamiento: 0 a 50 °C.
- Temperatura de almacenamiento: -20 °C a +60 °C.
- Color: RAL 7021.
- Normas CEM: EN 50082-2, EN 50081-2.
- Normas eléctricas: CEI 664, VDE 0110, CEI 1010-1, EN 61010-1.
- Montaje sobre carril DIN 35 mm (EN 50022) o empotrado (taladro 138 · 138 mm -0 +1 mm).
- Pantalla de 7 segmentos (R6).
- Pantalla alfanumérica de 16 caracteres (R12 y RC12). Idiomas (inglés, francés, alemán, español).
- Contacto de alarma:
 - separado y libre de tensión,
 - mantenimiento del mensaje de alarma y anulación manual del mensaje.

Entradas:

- Conexión fase-fase o fase neutro.
- Insensible al sentido de rotación de las fases y del sentido de conexión del TI (bornes K-L).
- Desconexión frente a microcortes superiores a 15 ms.
- Entrada intensidad: TI X/5 clase 1.
- Intensidad mínima de funcionamiento en el secundario del TI:
 - R6, R12: 0,18 A.

- RC12: 0,036 A.
- Tensión:
 - R6: 220/240, 380/415 V.
 - R12, RC12: tensión de alimentación independiente 230 V, tensión de medida (red) 415 V.

Salidas:

- Contactos secos:
 - CA: 2 A/400 V, 2 A/250 V, 2 A/120 V.
 - CC: 0,3 A/110 V, 0,6 A/60 V, 2 A/24 V.

Ajustes y programación:

- Ajuste $\cos \emptyset$ objetivo: 0,8 ind. a 0,9 cap.
- Búsqueda automática del C/K.
- Ajuste manual del C/K: 0 a 1,99.
- Programas de regulación:
 - n: (2 + lineal).
 - Ca (circular).
 - S (lineal).
 - Cb (1 + circular).
- Escalonamientos posibles / programas:
 - 1.1.1.1.1.1 Ca / n / S
 - 1.1.2.2.2.2 n
 - 1.1.2.3.3.3 n
 - 1.2.2.2.2.2 Cb / n
 - 1.2.3.3.3.3 n
 - 1.2.3.4.4.4 n
 - 1.2.4.4.4.4 n
- Temporización entre desconexiones sucesivas de un mismo escalón: ajuste digital (10 a 300 s).
- Configuración de los escalones (sólo RC12): automático, manual, desconectado.
- Aplicación generador (RC12).
- Mando manual para test de funcionamiento.
- **Ajustes de fábrica:**
 - $\cos \emptyset$ deseado: 1.
 - C/K: 0,5.

- Programa de regulación n.
- Temporización entre conexiones sucesivas de un mismo escalón: 50 s.

Tabla 3.2: Tabla de ajuste manual de C/K para redes de 400 V. (4)

Tabla para el ajuste manual del C/K 400 V.							
	Potencia del primer escalón (kVAr)						
T1 (X/5)	2.5	5	7.5	10	15	30	60
100/5	0.18	0.36	0.54	0.72	1.08	2.17	4.33
150/5	0.12	0.24	0.36	0.48	0.72	1.44	2.89
200/5	0.09	0.18	0.27	0.36	0.54	1.08	2.17
250/5	0.07	0.14	0.22	0.29	0.43	0.87	1.73
300/5	0.06	0.12	0.18	0.24	0.36	0.72	1.44
400/5	0.05	0.09	0.14	0.18	0.27	0.54	1.08
600/5	0.03	0.06	0.09	0.12	0.18	0.36	0.72
750/5	0.02	0.05	0.07	0.10	0.14	0.29	0.58
800/5	0.02	0.05	0.07	0.09	0.14	0.27	0.54
1000/5	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10	0.21	0.43
1500/5	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.14	0.29
2000/5	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.11	0.22
2500/5	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.09	0.17
3000/5	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.07	0.14

3.4. Características de los contactores

Descripción

Los contactores LC1-DK están específicamente diseñados por Telemecanique para el mando de condensadores de potencia.

Están equipados con un bloque de contactos de paso adelantado al cierre de los contactos principales y conectados en serie con resistencias de preinserción, que limitan la intensidad en la conexión a 60 In. Su concepción, patentada, garantiza la seguridad y la longevidad de los condensadores y fusibles, instalados en las baterías de Merlin Gerin.

Características técnicas:

Condiciones de utilización:

- No es necesario utilizar inductancias de choque ni en baterías de un solo escalón ni de escalones múltiples.

Tabla 3.3: Tabla de características generales de los reguladores Varlogic. de la marca Schneider Electric (4)

Tabla resumen de características de los reguladores Varilogic.Schneider Electric (4).					
Tipo	Nº de contactos de salida escalón	Tensión de alimentación (V)	Tensión de medida (V)		Ref.
R6	6	220/240 -380/415			52400
R12	12	220/240	99 ... 456 V		52401
RC12	12	220/240	99 ... 456 V		52402
INFORMACION SUMINISTRADA			R6 & R12	RC12	
COS Ø			•	•	
ESCALONES CONECTADOS			•	•	
ACTUACION (CONEXIÓN DESCONEXION INMINENTE)			•	•	
CONFIGURACION DE ESCALONES(AUTO-MAN-DESCONECTADO)				•	
INTENSIDAD APARENTE Y REACTIVA				•	
TASA DE DISTORSION ARMONICA EN TENSION				•	
TENSION, TEMPERATURA POTENCIAS(S,P,Q)				•	
ESPECTRO TENSION ARMONICAS(3,5,7,11,13)				•	
ALARMA	CODIGO	ACTUACION	R6	/ R12	RC12
FALTA DE KVAR	A (01)		•	•	•
INTENSIDAD	A (02)		•	•	•
COS Ø ANORMAL	A (03) < 0.5IND O.8CAP		•	•	•
TENSION BAJA	A (04) < 0.8Uo (1seg)	Desconexión (2)	•	•	•
SOBRECOMPENSACION	A (05)		•	•	•
FRECUENCIA NO DETECTADA	A (06) +/- 1Hz	Paro regulación	•		
	A (06) +/- 2Hz	Paro regulación		•	•
SOBREINTENSIDAD	A (07) > 6A (180s)	Paro regulación	•	•	•
SOBRETENSION	A (08) > 1.2Uo (60s)	Paro regulación	•	•	•
TEMPERATURA ELEVADA	A (09) < 35 °C.(1)				•
	A (09) > 50 °C.(1)	Desconexión (2)			•
TASA DE DISTORSION ARMONICA	A (10) > 7% (120s)(1)	Cl ventilador			•
SOBRECARGA ESCALON Irms/In	A (11) >1.5 (120s)(1)	Desconexión (2)			•
PERDIDA DE POTENCIA	A (12)				•
AVISOS			R6	/ R12	RC12
INTENSIDAD BAJA	(I-Lo) < 0.24 A (2s)		•	•	
	(I-Lo) < 0.05 A (2s)				•
INTENSIDAD ELEVADA	(I-Hi) < 5.50 A (30s)		•	•	•
TENSION NO DETECTADA				•	•

Notas: Uo Tensión de medida

(1) Umbral regulable

(2) La regulación vuelve a actuar después de la desaparición del defecto.

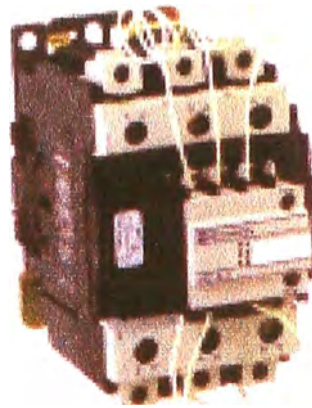


Fig. 3.6 Contactor especificado para mando de condensadores.

- La protección contra cortocircuitos se realizará por medio de fusibles gl de calibre comprendido entre 1,7 y 2 In.
- Temperatura media sobre 24 h: 45 °C según normas CEI 831 y CEI 70.
- Potencias máximas de empleo. Las potencias indicadas en la Tabla 3.4 se entienden para las siguientes condiciones:
Corriente de cresta presumible a la conexión de 200 In.
- Cadencia máxima:
 - Los tipos LC1-DFK, DLK, DMK, 240 ciclos/hora.
 - Los tipos LC1-DTK, DWK, 200 ciclos/hora.
- Endurancia eléctrica, a la carga nominal.
 - Los tipos LC1-DLK (400 V), 300.000 ciclos.
 - Los tipos C1-DLK, DMK, DPK, DTK, DWK (600 V), 200.000 ciclos.
- Circuitos de mando:
 - Tensiones disponibles:
24/42/48/110/230/240/380/400/415/440/500/600 VCA.
 - Frecuencias: 50 Hz, 60 Hz, 50-60 Hz.
- Normas: de conformidad a CEI 70, CEI 831, NFC 54-100, VDE 0560, UL y CSA.

CAPITULO IV APLICACIONES

Para ilustrar los puntos de interés mostramos en el presente informe presentamos dos casos que nos ayuden a reforzar los conceptos comentados.

4.1 Primer Caso : Compensación en una empresa industrial dedicada a la inyección de plásticos, con nave de inyección, almacenaje y oficinas. La zona de inyección dispone de 150 m², el cuarto de compresores 50 m², la zona de almacenaje, carga y descarga 200 m², taller de mantenimiento 300 m², oficinas 150 m².

4.1.1 Datos de las cargas

Potencias aparentes de las diferentes zonas de carga:

Zona máquinas de inyección:

Sz-1 = 63,98 kVA

Zona compresores:

Sz-2 = 12,6 kVA

Zona taller de mantenimiento:

Sz-3 = 18,9 kVA

Zona almacén de expediciones:

Sz-4 = 8,46 kVA

Zona oficinas:

Sz-5 = 14,13 kVA

- Justificación de la elección de la forma de compensar

La zona de solicitud de máxima potencia reactiva es la zona de máquinas. Las máquinas específicas para la inyección de plásticos poseen dos consumos principales:

- El motor para mantener la presión del sistema hidráulico,
- Las resistencias de calefacción para la plastificación del material.

De las dos cargas, el motor necesita energía reactiva para crear los campos para el movimiento giratorio del eje del motor. El ciclo de trabajo de la máquina es corto:

- Cierre, el motor da presión al sistema hidráulico para que pueda actuar el cilindro de cierre (2 a 3'').
- Inyección, el motor mantiene la presión para la actuación del cilindro de presión (3 a 5'').
- Enfriamiento del material en el molde (6 a 12''), el motor no actúa durante este período, que es el más largo; las electroválvulas mantienen la presión.
- Apertura y expulsión (2 a 4''), el motor vuelve a actuar para mantener la presión del circuito hidráulico en las maniobras de apertura y expulsión.

Nota: El ejemplo de tiempos es del tipo orientativo, puesto que oscilan en función de la pieza, el material y la calidad de la misma.

¿Cómo compensar? Si compensamos el motor individualmente tendremos que en cada ciclo deberemos descargar la batería de condensadores, operación de descarga superior al tiempo de paro del motor; por tanto, debemos pensar en una compensación global.

Si el alumbrado, que es el segundo punto de consumo de energía reactiva, está realizado con tubos fluorescentes compensados hasta un $\cos \varnothing = 0,86$, el sistema más adecuado será una compensación global.

- Cálculo de la potencia y el $\cos \varnothing$ medio de la fábrica, la industria trabaja:

- A tres turnos la parte de inyección y compresores, 360 días al año.
- A dos turnos el taller de mantenimiento, 222 días al año.
- A un turno el almacén de expediciones y las oficinas, 222 días al año.

A continuación se presenta un cuadro con los datos necesarios para las evaluaciones de las cargas; para obtener así los elementos de la compensación.

4.1.2. Cálculo de la batería

El cálculo de la batería lo podemos realizar con programas informáticos, introduciendo los datos de:

- Potencia en kW.
- Cos Ø. existente.
- Cos Ø deseado.

Pero para facilitar la comprensión expondremos los pasos realizados y expresados en la tabla 4.1.

Primer paso:

Hemos buscado, de forma aproximada, el tiempo real que está trabajando cada carga. En función de su ciclo: las máquinas; de las horas de encendido:

el alumbrado; y del tiempo de funcionamiento para la manutención térmica: el acondicionamiento de aire. Una advertencia: hemos introducido un coeficiente de consumo medio K_c que no corresponde al coeficiente de utilización K_u , que hemos utilizado para el dimensionamiento de la instalación.

- El coeficiente de consumo medio nos interesa para acercarnos al consumo medio en kW/año.
- El coeficiente de utilización K_u nos interesa para poder dimensionar una instalación, capaz de suministrar la energía necesaria en cada momento, para cada carga y en función de su rendimiento. Está ligado al coeficiente de simultaneidad K_s .

Segundo paso:

Hemos realizado el producto de la potencia de cada carga en kVA por el coeficiente de consumo medio en cada turno de trabajo, obteniendo los kVA/h medios consumidos en cada turno.

$$S(\text{kVAh}) = S(\text{kVA}) \cdot K_c \cdot 8\text{h/turno}$$

Es habitual que el coeficiente de consumo varíe en función del turno, por ejemplo: el alumbrado no tendrá las mismas horas/año de media de encendido, el primer turno que el segundo o el tercero, pero para no extender demasiado

el ejemplo hemos considerado el mismo coeficiente de media para los cuatro turnos de la industria.

Tabla 4.1: Tabla de valores del ejemplo de cálculo de compensación.

CUADRO DE POTENCIAS Y CONSUMOS									
DESCRIPCION	S (kVA)	Kc	cos Ø	kVA /h(turnos)			kW /h(turnos)		
				1°	2°	3°	1°	2°	3°
SALA DE MAQUINAS									
MAQUINA N° 1	10,3	0,5	0,83	41,2	41,2	41,2	34,2	34,2	34,2
MAQUINA N° 2	14,2	0,5	0,86	56,8	56,8	56,8	48,85	48,85	48,85
MAQUINA N° 3	14,2	0,5	0,86	56,8	56,8	56,8	48,85	48,85	48,85
MAQUINA N° 4	24,0	0,5	0,86	96,0	96,0	96,0	82,56	82,56	82,56
MAQUINA N° 5	3,5	0,5	0,86	14,0	14,0	14,0	11,2	11,2	11,2
T.CORRIENTES	21,04	1	0,8	84,16	84,16	84,16	67,33	67,33	67,33
ALUMBRADO	4,2	0,8	0,86	29,9	29,9	29,9	25,72	25,72	25,72
A. ACONDICIONADO	16,5	0,6	0,8	79,2	79,2	79,2	63,36	63,36	63,36
COMPRESOR									
COMPRESOR	7,6	0,7	0,8	42,56	42,56	42,56	34,05	34,05	34,05
T.CORRIENTES	2,8	1	0,8	22,4	22,4	22,4	17,92	17,92	17,92
ALUMBRADO	3,5	0,8	0,86	22,4	22,4	22,4	17,92	17,92	17,92
TALLER MNTTO									
POTENCIA	21,0	0,9	0,80	151,2	151,2		120,96	120,96	
ALUMBRADO	4,2	0,6	0,86	20,16	20,16		17,34	17,34	
ALMACENES									
POTENCIA	10,0	0,6	0,80	48,0			38,4		
ALUMBRADO	1,4	0,6	0,86	6,72			5,78		
OFICINAS									
POTENCIA	3,8	0,9	0,90	27,36			24,63		
ALUMBRADO	3,6	0,7	0,86	20,16			17,34		
A. ACONDICIONADO	15,0	0,6	0,80	72,0			57,6		
SUMAS				891,02	716,78	545,42	734,01	590,26	451,96
COS Ø MEDIO							0,823	0,823	0,828
POT. MEDIA (Kw)							91,75	73,78	56,49
Coeficiente cos Ø							0,489	0,489	0,489
POT. Reactiva (kVAR)							45	36	28
Potencia instalada (kVA) generadora de armónicos							16,9	11,9	7,7
Relación CT 630 kVA.							2,7%	1,9%	1,2%

Tercer paso:

El mismo proceso que el segundo, pero para la potencia activa, multiplicando por el cos

$$S(\text{kVA/h}) = S(\text{kVA}) \cdot K_c \cdot 8\text{h/turno} \cdot \cos \emptyset$$

Cuarto paso:

Hemos identificado las cargas que producen armónicos.

Como que los motores no disponen de variadores de velocidad, solamente arrancadores electromecánicos, los generadores de armónicos son las reactancias saturadas de los tubos fluorescentes.

Es probable que en la realidad, una vez la industria en funcionamiento, exista alguna carga no identificada en el proyecto que sea generadora de armónicos; es obvio que deberemos reconsiderar el estudio en el momento de la puesta en servicio y en términos generales después del primer año de trabajo.

Quinto paso:

Sumar los consumos por turno.

Sexto paso:

Buscar el cos \emptyset medio por turno. Si tenemos la potencia aparente consumida por turno y la potencia activa consumida por turno, con una simple operación

tenemos el cos \emptyset medio por turno.

$$\text{Cos } \emptyset = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA/h)}} \quad (4.1)$$

Sétimo paso:

Definir el cos \emptyset medio deseado. En este caso, cos $\emptyset = 0,98$.

Octavo paso:

Buscar en la tabla 1.1 el coeficiente correspondiente al cos \emptyset medio que tenemos por turno y el deseado. En este caso, 0,489.

Noveno paso:

Cálculo de la batería necesaria por turno.

- A partir del consumo por turno podemos definir la potencia activa

media por turno:

$$P \text{ (kW)} = \frac{P \text{ (kVA/h)}}{8 \text{ h / turno}} \quad (4.2)$$

• Primer turno:

$$P \text{ (kW)} = \frac{P \text{ (kVA/h)}}{8 \text{ h/ turno}} = \frac{734.01}{8} = 92 \text{ kW}$$

• Segundo turno:

$$P \text{ (kW)} = \frac{P \text{ (kVA/h)}}{8 \text{ h/turno}} = \frac{590.26}{8} = 74 \text{ kW}$$

- Tercer turno:

$$P \text{ (kW)} = \frac{P \text{ (kVA/h)}}{8 \text{ h/turno}} = \frac{451.9}{8} = 56 \text{ kW}$$

Décimo paso:

Calcular la potencia y la proporcionalidad de los generadores de armónicos.

- La potencia:

Si seguimos los mismos pasos que hemos realizado para conocer la potencia activa media total por turno, pero con las cargas generadoras de armónicos (en el cuadro bajo franja de color rosa) con la potencia aparente, tendremos:

- Primer turno, 16,9 kVA.
- Segundo turno, 11,9 kVA.
- Tercer turno, 7,7 kVA.

- La proporcionalidad:

La proporcionalidad ha de referirse a la potencia aparente del transformador de suministro.

Puestos en contacto con la empresa suministradora, nos indica que nos suministra desde un CT, con un transformador de 630 kVA:

$$\% = \frac{100 \cdot S \text{ armónicos}}{\text{Stransformador}} \quad (4.3)$$

Primer turno:

$$\% = \frac{100 \cdot 16.9 \text{ KVA}}{630 \text{ KVA}} = 2.7 \%$$

Segundo turno:

$$\% = \frac{100 \cdot 11.09 \text{ KVA}}{630 \text{ KVA}} = 1.9 \%$$

Tercer turno:

$$\% = \frac{100 \cdot 7.7 \text{ KVA}}{630 \text{ KVA}} = 1.2 \%$$

Esta proporcionalidad es menor del 15%; por tanto, con soluciones estándar podemos solucionar la compensación.

4.1.3 Solución propuesta

Batería automática

Modelo: Minicap 400 V estándar.

Potencia: 45 kVAr.

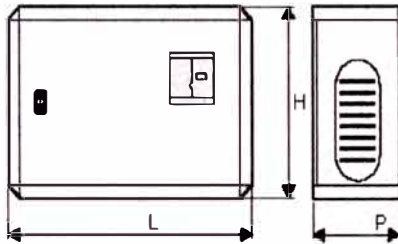
Escalones: 7,5 + 7,5 + 2 · 15.

Regulación: 1-1-2-2

Ref. 530816C.

Baterías automáticas Minicap

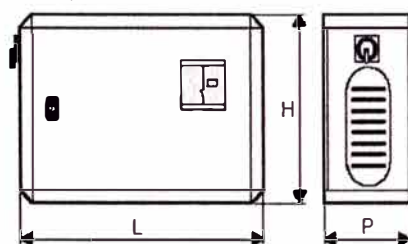
Minicap sin seccionador



Minicap					
Potencia (kVAr)		Dimensiones (mm)			Peso (kg)
400 V	230 V	H	L	P	
Sin seccionador					
7,5	3,75	400	550	255	25
10	5	400	550	255	25
12,5	6,25	400	550	255	25
15	7,5	400	550	255	25
17,5	8,75	400	550	255	25
20	10	400	550	255	25
22,5	11,3	400	550	255	25
25	12,5	400	550	255	25
30 (122)	15 (122)	400	550	255	25
30	15	600	550	255	35
35	17,5	600	550	255	35
37,5	18,8	600	550	255	35
40 (Peg. 10)	20 (Peg. 5)	600	550	255	35
45		600	550	255	35
40 (Peg. 5)	20	800	550	255	45
50	22	800	550	255	45
52,5	22,5	800	550	255	45
55		800	550	255	45
60		800	550	255	45
62,5		800	550	255	45
67,5		800	550	255	45
70		1.000	550	255	45
75		1.200	550	255	50
90		1.200	550	255	45

Con seccionador

Minicap con seccionador



7,5		400	587	255	26
10		400	587	255	26
12,5		400	587	255	26
15		400	587	255	26
17,5		400	587	255	26
20		400	587	255	26
22,5		400	587	255	26
25		400	587	255	26
30 (Peg. 10)		400	587	255	26
30		800	587	255	46
35		800	587	255	46
37,5		800	587	255	46
40		800	587	255	46
45		800	587	255	46
50		800	587	255	46
52,5		800	587	255	46

Tabla E6-013 baterías automáticas Minicap.

E
6

Fig 4.1 Catálogo de la batería seleccionada – Schneider Electric.(4)

4.1.4 ¿Qué cambios de recargos representa la compensación?

Antes de compensar:

$$K_r = \frac{17}{0.82^2} - 21 = 4.28\%$$

Después de compensar:

$$K_r = \frac{17}{0.98^2} - 21 = - 3.3\%$$

Pasaremos de un recargo a la factura sobre los términos de potencia y energía de un 4,28 % a una bonificación de un 3,3 %, o sea, que compraremos la energía un 7,58 % más económica, de lo que se hacía anteriormente.

4.2 Segundo Caso; En esta parte se presenta una aplicación que se llevo a cabo a finales del año 1999, en base a un estudio de compensación reactiva.

4.2.1 Antecedentes.

Telefónica del Perú SAA dentro de su política de Ahorro de Energía que implementó desde hace algunos años busca disminuir al máximo el consumo de energía reactiva sin compensar a fin de lograr un factor de potencia cercano a 0.9 y por consiguiente bajar los costos por consumo de energía; es por ello que se viene implementando la ejecución del suministro, instalación y puesta en servicio de banco de condensadores para los locales de Telefónica del Perú.

- **Alcances.**

Las obras están comprendidas de las siguientes actividades:

- 1 Visita técnica y replanteo de obra
- 2 Levantamiento del plano de ubicación del banco de condensadores.
- 3 Obras preliminares (Construcción de ductos y canaletas)
- 4 Suministro y montaje del BC, de 150 KVAR, 3Ø, 380 V,60 Hz.
- 5 Pruebas y puesta en servicio del BC.
- 6 Suministro y montaje del Tablero General de paso.

- **Control de Calidad.**

El diseño, fabricación, instalación y pruebas se ceñirán a las normas técnicas internacionales.

El equipamiento es de procedencia Europea y japonesa de uso extendido en el mercado nacional e internacional. Así mismo la supervisión y el control de calidad de los equipos y materiales que conforman el conjunto de la obra serán designados por la propia Telefónica. La supervisión cuenta con la autoridad suficiente para aceptar o rechazar los materiales que no cumplan con los requisitos técnicos mínimos de calidad y confiabilidad.

- **Pruebas.**

Las pruebas de control y fabricación son realizadas en la planta de la empresa contratista RLC INGENIERIA ELECTRICA S.A. en forma conjunta con la supervisión tanto en planta como en obra utilizando para ello equipos y medios adecuados que confirmen su conformidad.

Así mismo se elabora un protocolo de pruebas que estará firmado por los responsable de la prueba.

4.2.2 Especificaciones técnicas de materiales.

El tablero es de dos cuerpos fabricado según las características técnicas exigidos por Telefónica del Perú S.A.A. por lo que están fabricados en planchas LAF de 1/16" de espesor con acceso frontal mediante puerta con cerradura tipo cremona con manija y llave, perfiles angulares de 1 ½" x 1 ½" x 1/8".Este tablero fue sometido a un acondicionamiento metálico de limpieza profunda protegida con doble capa de pintura base anticorrosiva y acabado con color RAL 7032 y proceso de secado al horno.

Diseñado bajo las siguientes características:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tensión de Aislamiento	: 600 VAC
Tensión de Servicio	: 240 VAC
Barras principales de cobre	: 60 x 5 mm
Fases	: 3 fases
Frecuencia	: 60 Hz.
Barra de puesta a tierra	: 50 x 5 mm
Rejillas de Ventilación	: 4
Cáncamos para Izaje	: 2
Dimensiones	: 2200 x 1600 x 600 mm
Serie	: BO/ R / ARM
Capacidad	: 10 & 20 KVAR
Tensión de servicio	: 230 VAC
Tolerancia de potencia	: -5 ± 10 %
Frecuencia	: 60 Hz.
Temp. de operación	: - 40 °C.+ 45 °C.

Los demás elementos especificados de un modo similar a lo mostrado en el capítulo 3 de este informe.

Esta batería es de 150 kVAR en 230 V. y esta dividida en 05 pasos 01 de 10 kVAR, 01 de 20 kVAR y 03 de 40 kVAR; para su cálculo procedemos de un modo similar al caso anterior.

4.2.3 Especificaciones técnicas de montaje.

Montaje de Banco de Condensadores: El montaje de los diferentes componentes es realizado en planta por el personal técnico de la empresa, siguiendo un programa secuencial de fabricación según diseño, bajo la supervisión del ingeniero supervisor de planta.

Para el montaje del Banco de Condensadores se tiene las siguientes consideraciones:

- 1 Se tiende los cables de alimentación desde el Tablero de paso donde se encuentra el ITM del BC. Hasta el BC.
- 2 Se monta los transformadores de corriente que llevan la señal de corriente al regulador automático para lo cual utilizamos conductores del tipo vulcanizado flexible de 2 x 4 mm² dentro de tubería flexible también.
- 3 Se fija el tablero al piso mediante pernos con tacos de expansión.

los cables de alimentación desde el tablero de paso tablero es de dos cuerpos fabricado según las características técnicas exigidos por Telefónica del Perú.

4.2.4 Inventario físico valorizado de Obra.

INVENTARIO FISICO VALORIZADO

SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LA BATERIA DE 150 KVAR - 220 V.

PROPIETARIO : TELEFONICA DEL PERU. O.R. RIMAC - LIMA.

ITEM.	DESCRIPCION	U.M.	CNTD.	P.UNIT.	PARCIAL
A. MATERIALES					
	INTERRUPTOR TERM. NF 400 SE 3 X 400- 630 ^º .- MITSUBISHI	Un.	2	145,00	290,00
	TABLERO AUTOSOPORTADO SEGÚN ESP. TECNICAS	Un.	1	728,00	728,00
	VOLTIMETRO DE 96X96MM ESCALA 0 - 300V. - GANZ	Un.	1	35,00	35,00
	CONMUTADOR VOLTIMETRICO 1P/ 3F - EFE SEMITRANS	Un.	1	7,00	7,00
	REGULADOR AUTOMATICO DE POTENCIA 220V, 5A.	Un.	1	735,00	735,00
	CONDENSADOR 3 Ø DE 10 KVAR - 230V. – RTR	Un.	1	120,00	120,00
	CONDENSADOR 3 Ø DE 20 KVAR - 230V. – RTR	Un.	7	155,00	1085,00
	CONTACTOR 3 Ø MOD SN-35, VOLT. BOB. 220 V -MITSUBISHI	Un.	1	45,00	45,00
	CONTACTOR 3 Ø MOD SK-80, VOLT. BOB. 220 V -MITSUBISHI	Un.	1	92,00	92,00
	CONTACTOR 3 Ø MOD SK-150, VOLT. BOB. 220 V - MITSUBISHI	Un.	3	225,00	675,00
	CONTACTOR MODELO CA2 DN 22 - 220 V.-TELEMECANIQUE	Un.	5	24,00	120,00
	BASE PORFAFUSIBLE Y FUSIBLE NH- 00 (50 A, 100A, 160 A.)	Un.	15	14,00	210,00
	PORTALAMPARA. C/LAMP. 220V - INCANDESCENTE VERDE.	Un.	7	11,00	77,00
	PORTALAMPARA. C/LAMP. 220V - INCANDESCENTE AMBAR.	Un.	1	11,00	11,00
	PORTALAMPARA. C/LAMP. 220V - INCANDESCENTE ROJO.	Un.	5	11,00	55,00
	JUEGO FUSIBLE DZ 4 / 25A. PARA CONTROL.	Un.	5	7,00	35,00
	CONMUTADOR UNIPOLAR M-0-A EFE SEMITRANS	Un.	7	12,00	84,00
	BOTON PULSADOR START STOP	Un.	2	14,80	29,60
	TERMOSTATO DE 10 - 60 °C, 220V.	Un.	1	29,00	29,00
	VENTILADOR AXIAL 220 V. 110 M3/HORA. SOLER & PALAU	Un.	2	127,00	254,00
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 1000/5A 15VA GANZ	Un.	1	43,00	43,00
	CABLE 2 -3x185 mm2 NYY - INDECO	Mt.	18	47,00	846,00
	CABLE DE Cu DESNUDO 50 mm2 - TIERRA INDECO	Mt.	15	0,97	14,55
	CONEXIÓN DE CABLE DE TIERRA A BARRAS	Un.	1	14,00	14,00
	RESISTENCIA DE DESCARGA	Un.	10	1,20	12,00
	MATERIALES ADICIONALES COMO ARANDELAS, PERNOS,ETC.	Un.	1	125,00	125,00
	TABLERO DE PASO CON I.G. 3 x 1600 A. Y B.C. 3 x 600 A.	Un.	1	2850,00	2850,00
B. MANO DE OBRA					
	INSPECCION DEL LOCAL DE TELEFONICA Y LEVANTAMIENTO	Glb.	1	250,00	250,00
	DEL PLANO PARA LA INSTALACION				
	MEDICION Y ESTUDIO DE ARMONICOS	Glb.	1	285,00	285,00
	CONSTRUCCION DE CANALETA DE 35 X 35 CM2, P.ESTRIADA	Glb.	7	25,00	175,00
	MONTAJE DE TABLERO AUTOSOPORTADO	Glb.	1	210,00	210,00
	CABLEADO DESDE EL TABLERO GENERAL HASTA EL	Glb.	1	190,00	190,00
	CONEXIONADO Y PRUEBAS EN FUNCIONAMIENTO	Glb.	1	460,00	460,00
	INSTALACION DE TABLERO DE PASO	Glb.	1	525,00	525,00
C. TRANSPORTE					
	TRANSPORTE DESDE LA PLANTA AL LUGAR DE INSTALACION	Glb.	1	245,00	245,00
COSTO TOTAL					\$10.961,15

NOTA.- EL COSTO INDICADO NO INCLUYE IMPUESTOS DE LEY (IGV)

Fig. 4.2 Inventario físico valorizado.

4.2.5 Mantenimiento y Garantía

El mantenimiento del Banco de Condensadores es casi nulo ya que no requiere de un mantenimiento en especial, esto depende de las condiciones de los locales por lo que consideramos que al menos una vez al año se deberá verificar lo siguiente:

- a) Mantener los terminales de conexión limpios especialmente en los ambientes con polvo.
- b) Verificar la temperatura ambiente del tablero el cual debe estar dentro del rango que las especificaciones técnicas determinan.
- c) Verificar la tensión, fundamentalmente en el periodo de baja carga.
- d) Revisar y ajustar los terminales de los contactores especialmente en los lugares donde existen vibraciones.

La garantía concede un periodo de 12 meses contados a partir de la fecha de las pruebas finales de entrega, la cual cubre defectos de diseño, fabricación y/o de montaje bajo condiciones normales de funcionamiento.

4.2.6 Relación de Planos

Fig 4.3 Disposición física de equipos.

Fig 4.4 Diagrama unificar de la instalación.

Fig.4.5 Diagrama unificar de la batería.

Fig 4.6 Dimensiones de la batería automática.

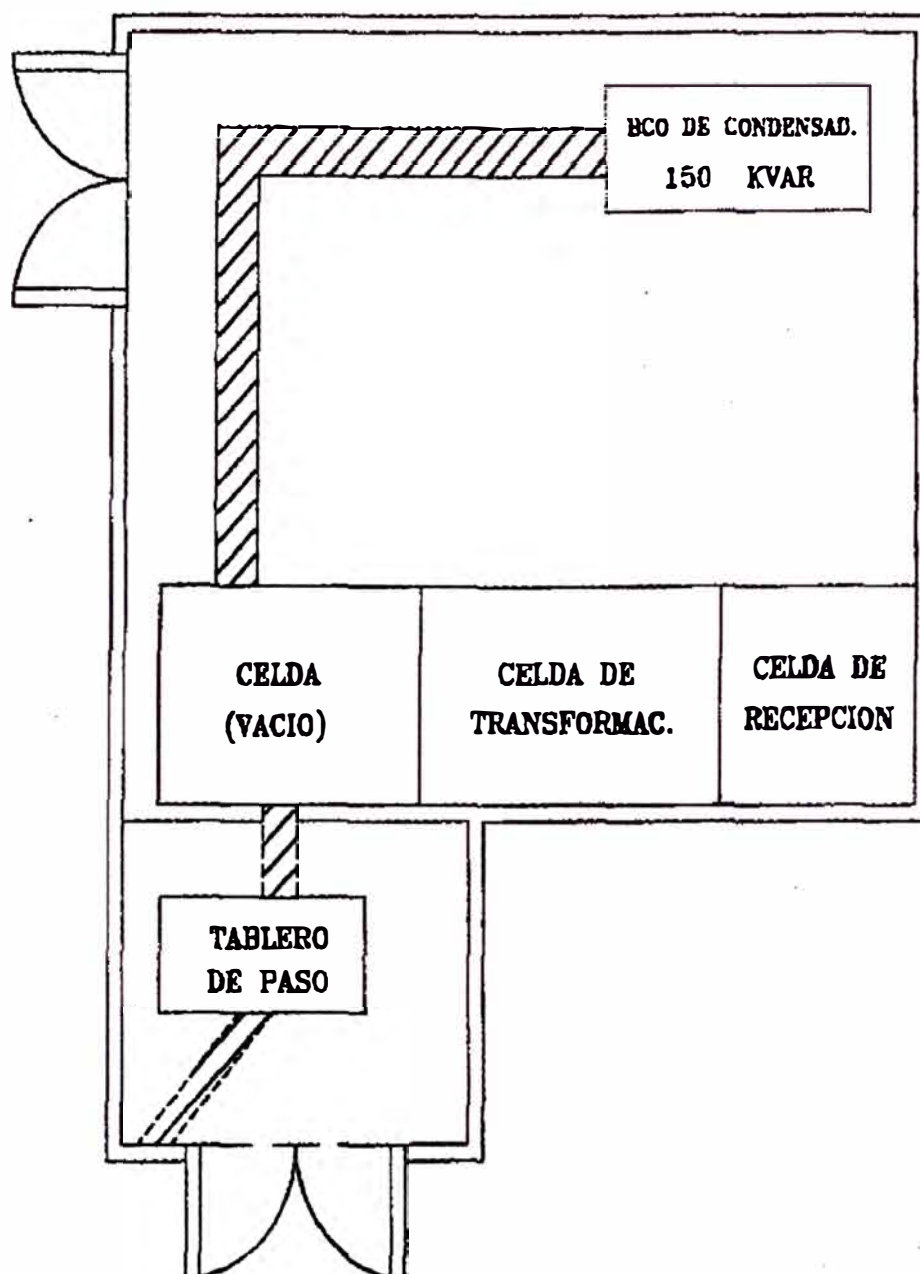


Fig. 4.3 Disposición física de tableros.

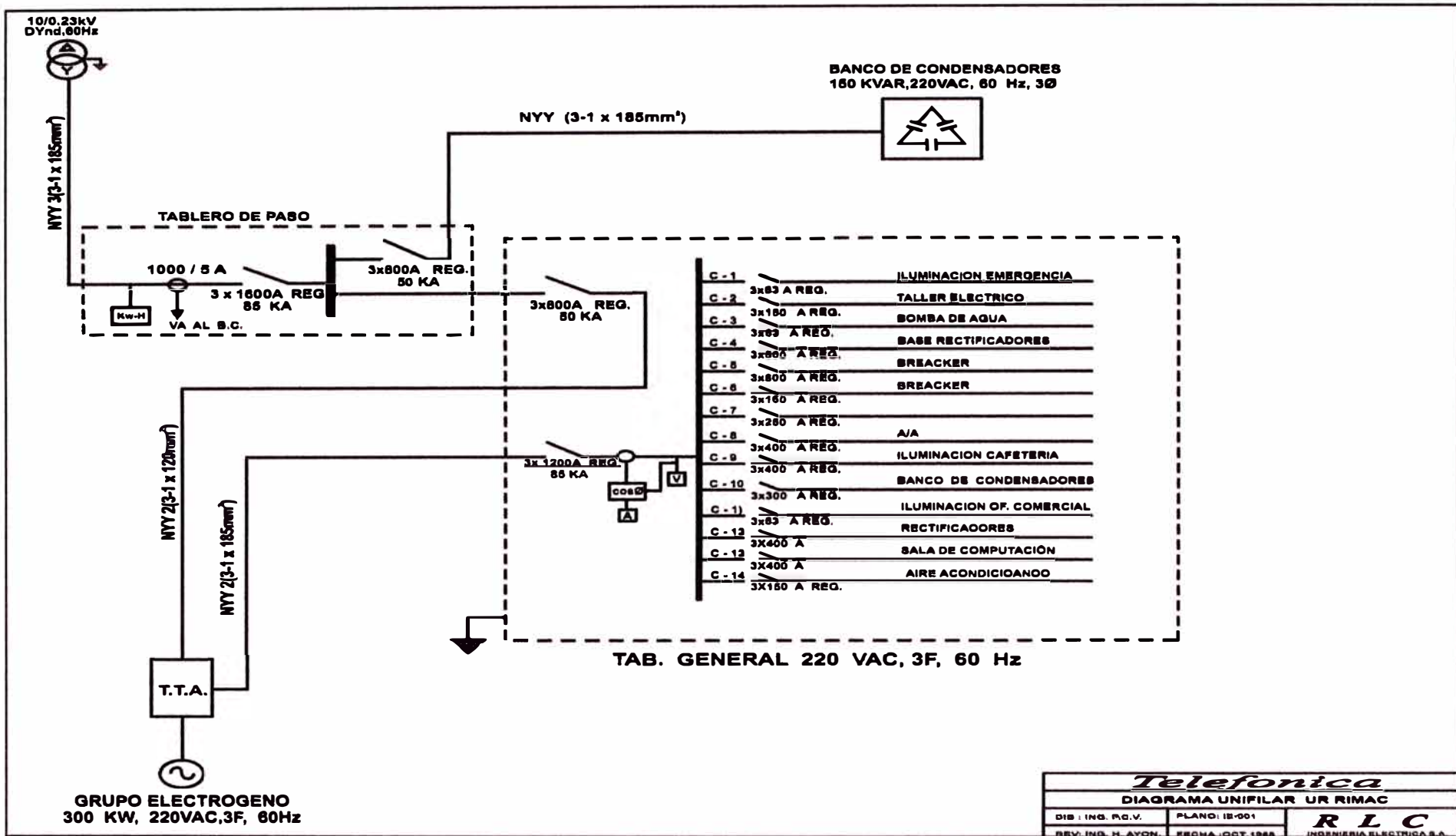


Fig. 4.5 Diagrama unifilar de la instalación.

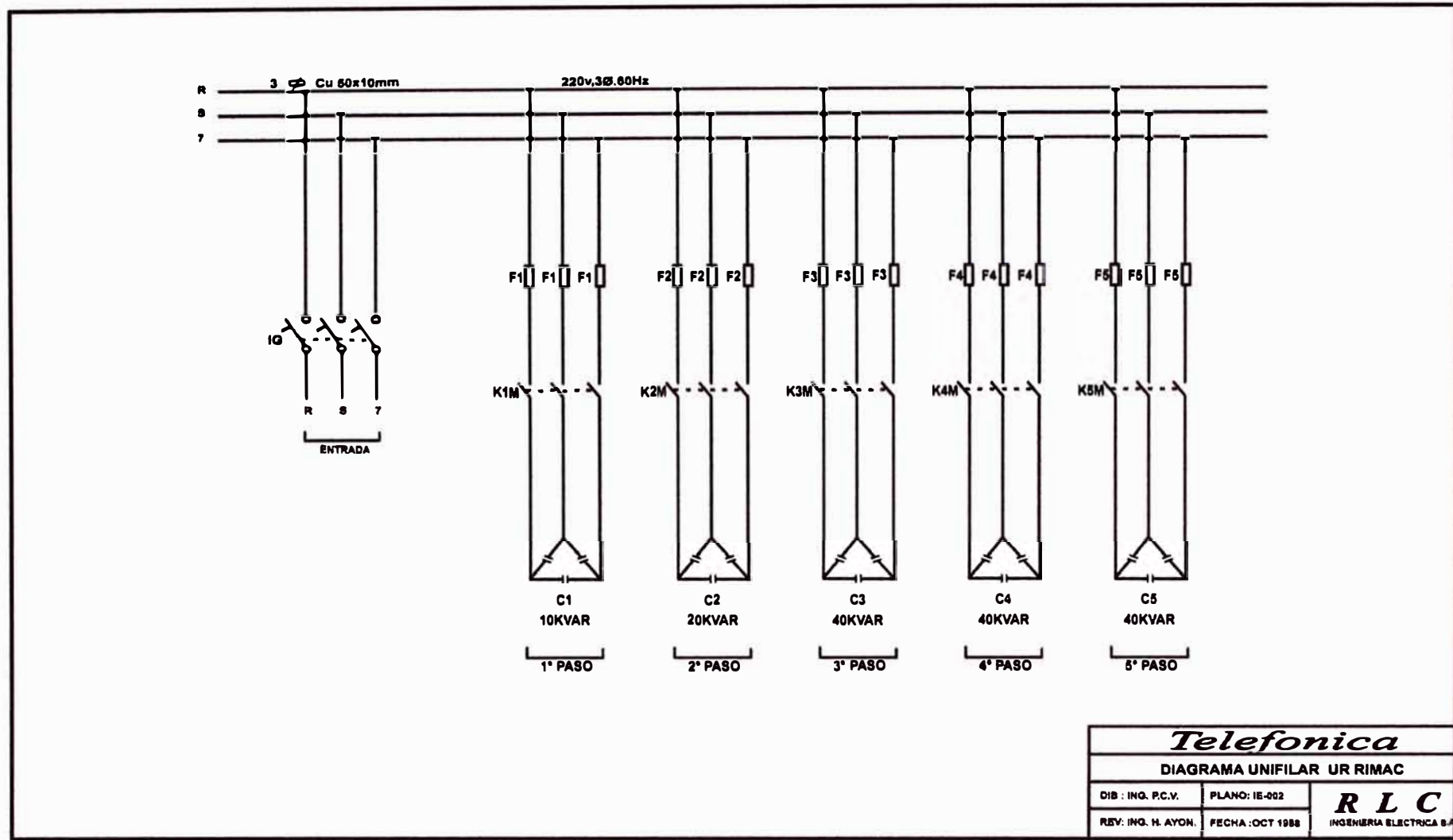


Fig. 4.5 Diagrama multifilar del circuito de fuerza de la batería automática.

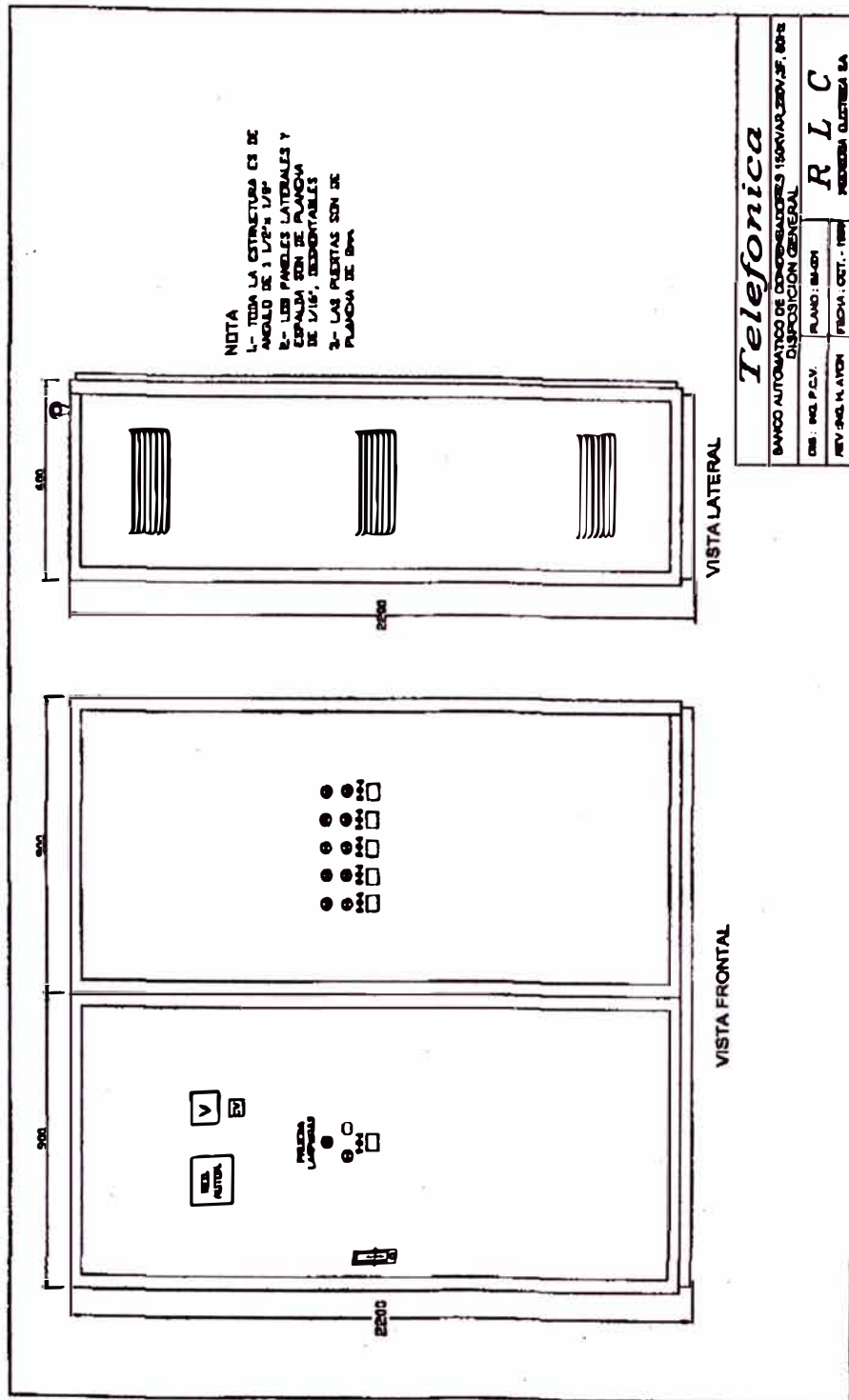


Fig 4.6 Dimensiones de la batería automática.

CAPITULO V

COMPENSACIÓN REACTIVA CON BANCOS DE CONDENSADORES EN PRESENCIA DE ARMONICOS.

5.1 ¿Qué son los armónicos?

Las cargas no lineales tales como: rectificadores, inversores, variadores de velocidad, hornos, etc, absorben de la red corrientes periódicas no senoidales. Estas corrientes están formadas por una componente fundamental de frecuencia 50 ó 60 Hz, más una serie de corrientes superpuestas, de frecuencias múltiplos de la fundamental, que denominamos ARMÓNICOS.

El resultado es una deformación de la corriente, y como consecuencia de la tensión, que conlleva una serie de efectos secundarios asociados.

Como se muestra a continuación:

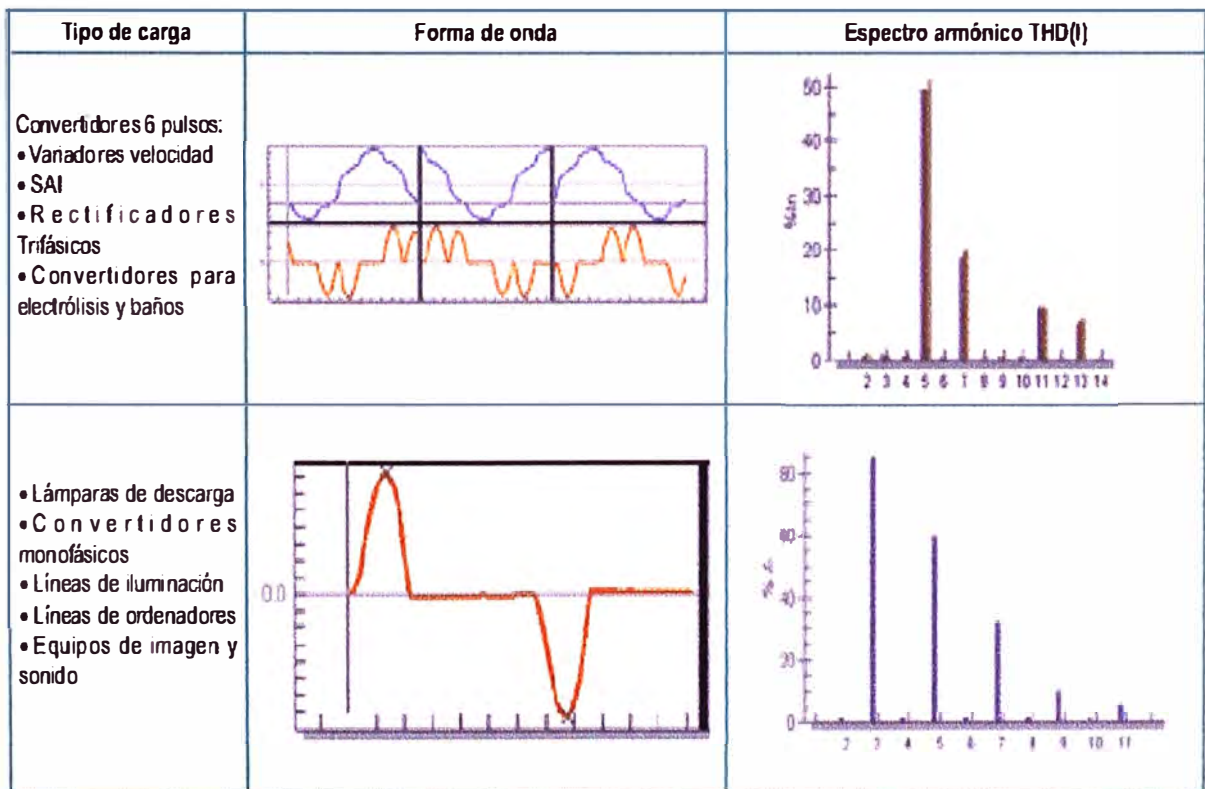


Fig. 5.1 Algunas formas de onda y su THD(I).

Se observa la forma de onda de las cargas y su espectro de armónicos

respectivo THD (I).

5.2 Resonancia de la batería automática.

La conexión de baterías de condensadores en una instalación puede conllevar a la amplificación de los armónicos existentes. Se entiende por amplificación el aumento de las tasas de distorsión armónica, tanto en tensión como en corriente. Para entender este fenómeno, se procede a estudiar una instalación tipo(1). Para ello, el esquema unifilar de la instalación, se modela en un circuito eléctrico equivalente, que consta de 3 tipos de receptores:

- Generadores de armónicos
- Receptores que no generan perturbaciones en la red eléctrica
- Baterías de condensadores (sumideros de armónicos)

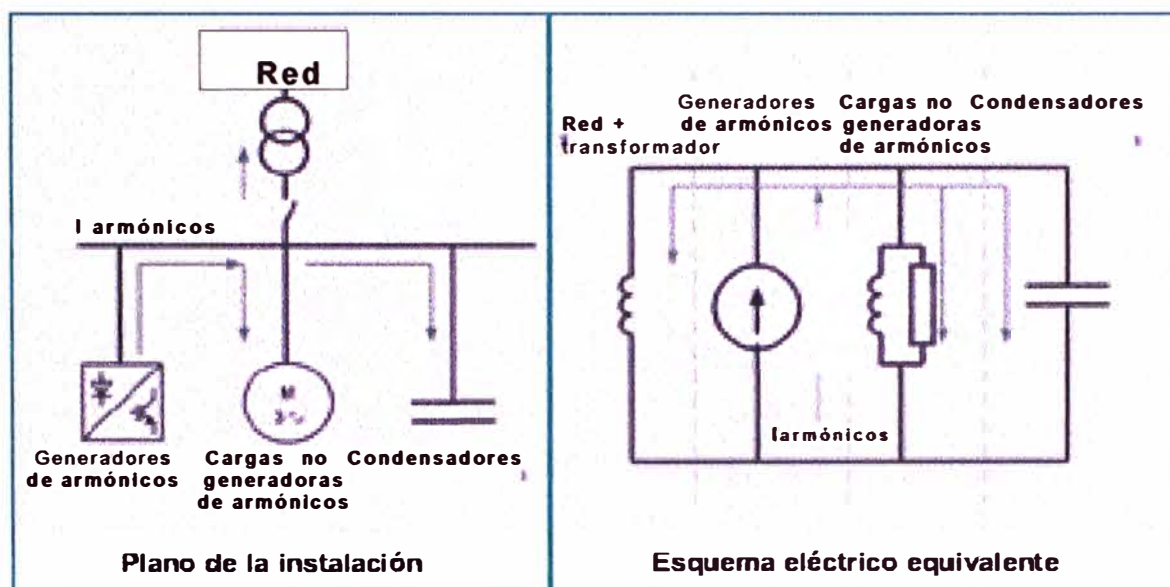


Fig. 5.2 Esquema unifilar y circuito equivalente.

La posibilidad de resonancia del sistema depende de:

Orden del armónico (n) al que resuena el sistema.

Se calcula con la expresión siguiente:

$$n = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q}}$$

S_{cc} : Potencia de cortocircuito del transformador
 Q : Potencia reactiva batería de condensadores

Existencia de armónicos a la frecuencia de resonancia

Situación de otras cargas de la red (potencia activa consumida)

EJEMPLO DE RESONANCIA

Se adjuntan a continuación dos gráficas comparativas de una instalación, con tasa elevada de armónicos, en la que se observa el antes y después de la conexión de una batería de condensadores.

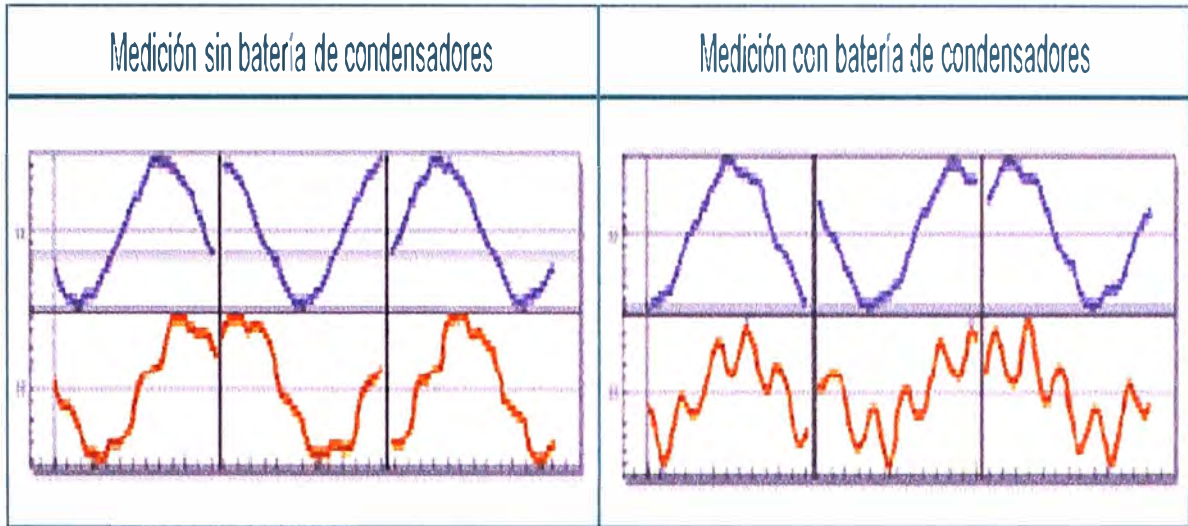


Fig. 5.3 Mediciones de armónicas en tensión y corriente.

Como consecuencia, los valores de THDI y THDV se ven aumentados. Una vez modelado el circuito se procede a su análisis. Para simplificar el ejemplo, se considera el caso más desfavorable, es decir, que en la instalación solo exista el transformador general, la batería de condensadores y la carga generadoras de armónicos. Como se observa, el circuito resultante corresponde al paralelo de una reactancia (transformador + red) y un condensador (batería) con las fuentes de corriente (armónicos).

En estas condiciones se produce la resonancia paralelo y como consecuencia, una amplificación de armónicos.

Causas

Resonancia paralelo: aumento de la impedancia del circuito transformador + red y batería a cierto valor de frecuencia.

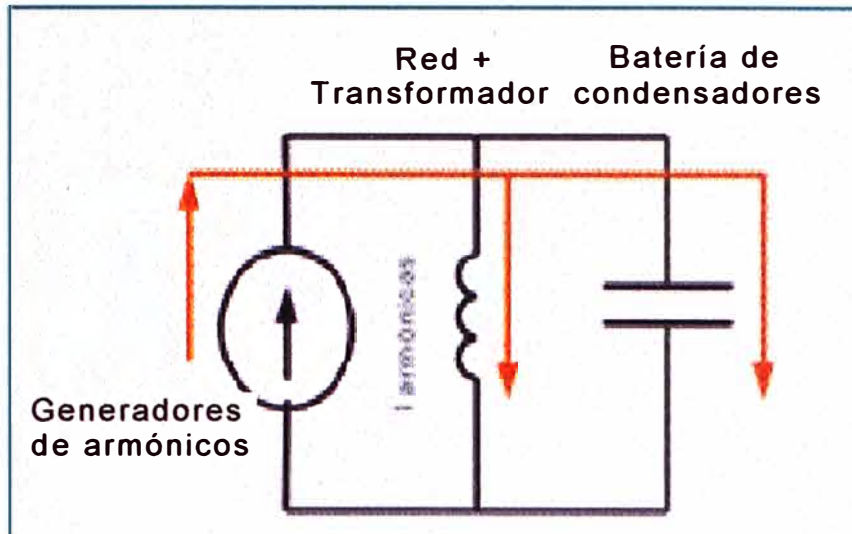


Fig 5.4 Circuito equivalente para 1 armónico.

Consecuencias

Aumento de las tensiones armónicas y por tanto del THD (U). Elevadas corrientes en cada una de las ramas L y C

Disparo de protecciones, deterioros de aislamiento, etc

La amplificación se observa en la curva de representación de las impedancias del sistema en función de la frecuencia.

En ella se observa, un alto valor de impedancia respecto al valor inicial de la red sin condensadores.

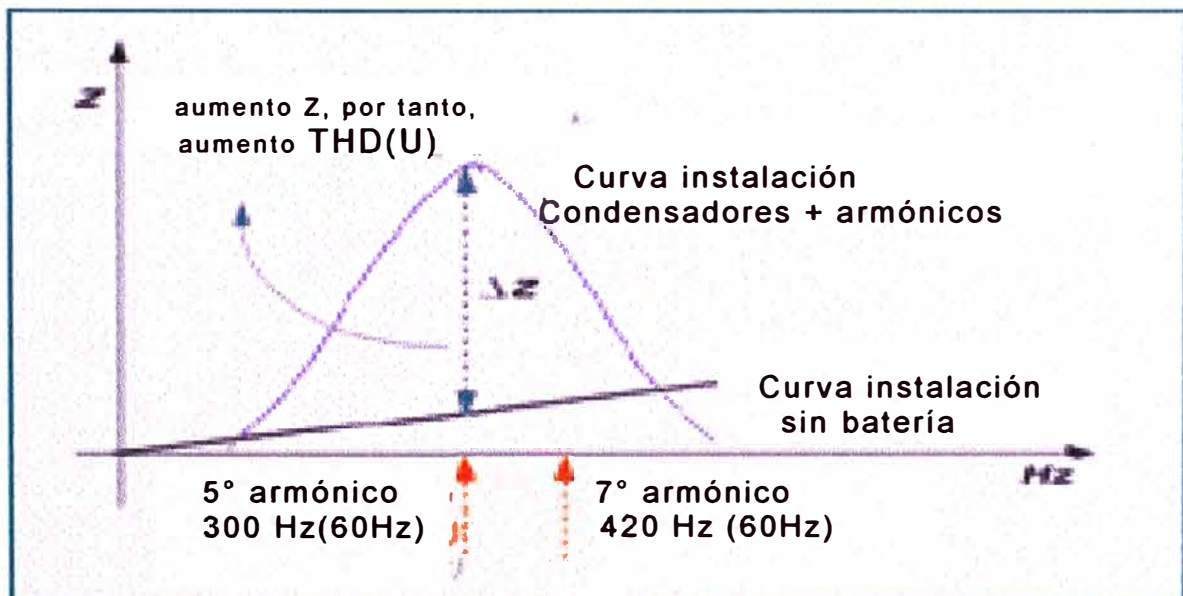
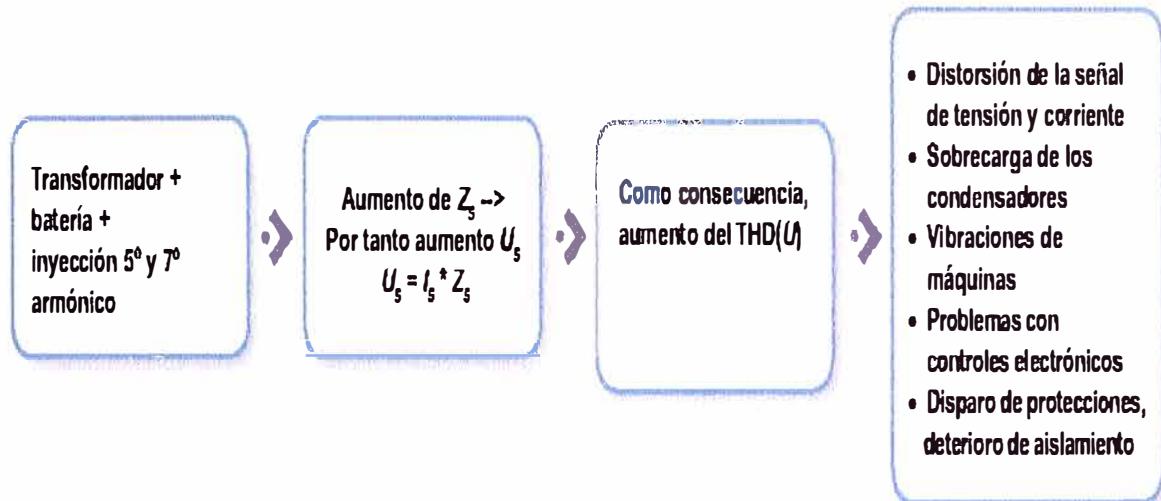


Fig. 5.5 Curvas de impedancias en función de la frecuencia.

Como resumen, se adjunta la siguiente secuencia;



Sobrecarga de conductores, máquinas e interruptores automáticos

En una instalación donde las tasas de distorsión armónica sean elevadas, el valor real de corriente y tensión, puede ser aumentado de manera importante respecto a la fundamental, generando sobrecargas y, consecuentemente, calentamientos. Para entender esta anomalía, se define el valor RMS, es decir, el verdadero valor eficaz de una señal, teniendo en cuenta la componente fundamental y las componentes armónicas existentes. Por tanto, una consecuencia evidente del aumento del valor RMS en corriente es el aumento del nivel de pérdidas, que son de dos tipos:

- Pérdidas en el cobre por efecto Joule
- Pérdidas magnéticas por histéresis y de Foucauld

Desequilibrio de fases

El reparto de cargas monofásicas en líneas trifásicas siempre da lugar a desequilibrios de las corrientes de fase. Dependiendo de la distribución realizada, estas corrientes de desequilibrio serán de mayor o menor importancia. El desequilibrio existente en un sistema trifásico, da como consecuencia, la generación de una corriente resultante que circula a través del conductor de neutro. Si además, al valor de la corriente de desequilibrio se añade la existencia de componente del tercer armónico, el valor RMS que circulará por el neutro será la suma de ambos.

Sobrecarga de neutro: Tercer armónico (corrientes homopolares)

Los armónicos de tercer orden se suman en el neutro dando lugar a

componentes llamadas homopolares. Estas componentes se suman al propio desequilibrio de los consumos y pueden originar problemas de sobrecarga en el conductor neutro. Las cargas que originan armónicos múltiples de 3 son:

Equipos electrónicos (ordenadores)

Rectificadores monofásicos, cargas que trabajan con el arco eléctrico como lámparas de descarga, etc. Dichas cargas, normalmente monofásicas, se conectan entre fase y neutro, por tanto, se cierra el circuito para el retorno del tercer armónico por el neutro, sin que el reparto de cargas entre fases ayude a reducir el valor, puesto que se suman las corrientes del tercer armónico de todas las fases. Por tanto, desde los puntos donde se encuentran las cargas hasta el transformador general, los conductores de neutro transportan la suma de corrientes de tercer armónico de las tres fases.

Teniendo en cuenta, que cargas como las lámparas de descarga pueden generar un 30 % o más, de su corriente en tercer armónico, el valor de corriente de neutro puede llegar a valores cercanos a la corriente de fase o incluso superarlas.

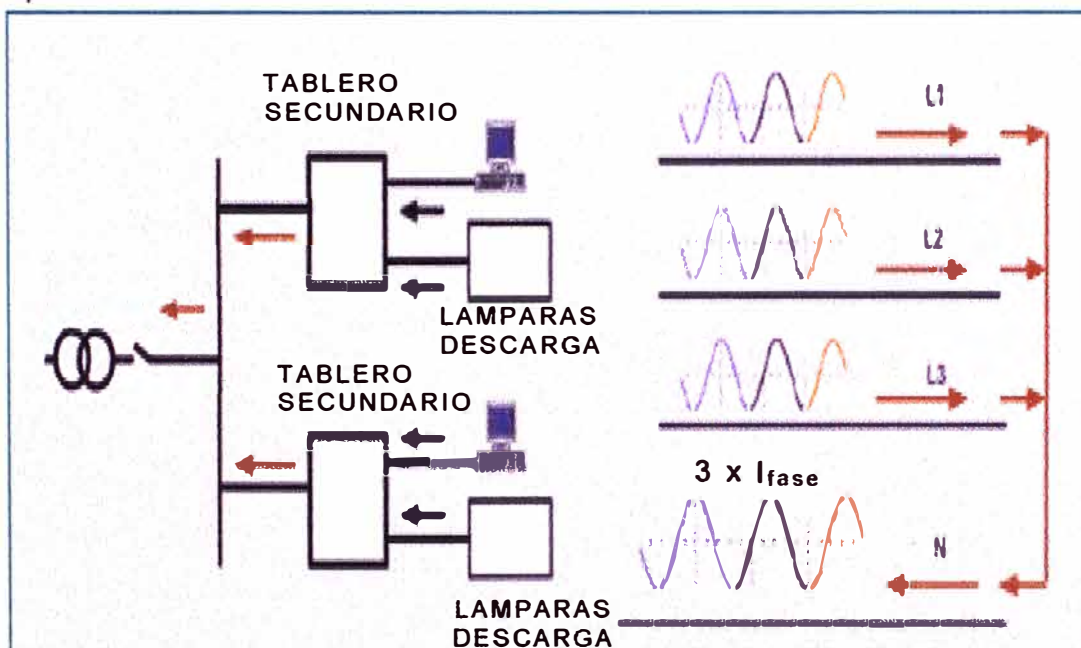


Fig. 5.6 Equipos para la descarga de neutro(1).

Para los diferentes tipos de anomalías existentes, se necesitan diferentes tipos de equipos que se encarguen de neutralizarlas.

Básicamente existen las siguientes categorías en las que se agrupan

todos los equipos según el objetivo deseado:

1. Compensación de reactiva en redes con corrientes armónicas
2. Filtrado de armónicos
3. Descargas de neutro

5.3 Compensación de energía reactiva en presencia de armónicos.

Las baterías con filtros de rechazo **FR / FRE** son equipos diseñados para la compensación de energía reactiva en redes donde el contenido de armónicos es elevado y existe un riesgo de resonancia. Su finalidad es la de compensar la energía reactiva evitando cualquier efecto de amplificación de las corrientes armónicas, causadas por las resonancias entre transformador y condensadores, y evitar la sobrecarga de armónicos en las baterías de condensadores.

Dichos filtros están equipados por reactancias de filtro, con factor $p = 7\%$, que evitan la amplificación de armónicos por encima de los 189 Hz y atenúan los armónicos existentes. Cuando deban evitarse resonancias a frecuencias menores a 189 Hz (tercer armónico) deben utilizarse filtros con $p=14\%$. Funciones de un filtro de rechazo **FR / FRE**; primero protección de la red mediante el desplazamiento de la resonancia fuera de las frecuencias a las que se inyectan los armónicos, por tanto se evita el efecto de amplificación y protección de los condensadores contra las sobrecargas generadas por las tensiones amplificadas.

5.4 Selección de una batería **FR / FRE**

Para la selección de una batería tipo **FR /FRE** es necesario conocer los siguientes datos:

Potencia reactiva (evolución en el tiempo)

Medida de la instalación para verificar:

- Contenido de armónicos o posibilidad de resonancia
- Rapidez de variación de la carga. Esto ayudará a la determinación para el tipo de tecnología de regulación (contactores o electrónica mediante tiristores)

Clasificación de los filtros de rechazo según la forma de compensación

Al igual que las baterías de condensadores, los filtros de rechazo pueden ser:

- Filtros de rechazo fijos. Para la compensación de transformadores y motores (FRF /FRM).
- Filtros de rechazo automáticos. Para el seguimiento de cargas variables.

En función de la rapidez de fluctuación de la carga el equipo será:

- Serie **FR**. Equipados con contactores electromecánicos y regulador de factor de potencia convencional
- Serie **FRE**. Equipados con contactores estáticos a base de tiristores y regulador de factor de potencia rápido. Esta solución permite una gran rapidez de maniobra y un bajo mantenimiento como consecuencia de la ausencia de partes mecánicas móviles.

Conexión de una batería FR / FRE

Las baterías **FR/ FRE** se conectan normalmente en el cuadro general de distribución, o en cuadros secundarios si la instalación es grande.

Los condensadores fijos **FRF /FRM** son filtros de un solo paso, La aplicación habitual es el montaje en el secundario del transformador de potencia de la instalación.

CONCLUSIONES

1. Todo condensador que se instale para corregir el factor de potencia deberá cumplir con las normas IEC 831, IEC 871 o IEC 931, según sea la tensión del servicio a los que se le aplique el condensador, o el tipo de éste último.
2. El problema más serio que presentan los condensadores en un sistema eléctrico son los relacionados a las sobretensiones. porque pueden perforar su aislamiento.
3. La corrección del factor de potencia por condensadores casi siempre son el medio más económico y se pueden fabricar en configuraciones distintas.
4. En una evaluación económica, el costo del banco de condensadores debe ser cubierto con lo que se deja de pagar en las tarifas por conceptos de energía reactiva y máxima potencia.
5. Con el desarrollo de los nuevos reguladores electrónicos la polaridad del transformador de corriente la toma indistintamente permite conectar la batería sin determinar la secuencia de fases esto lo corrige internamente el instrumento.
6. El factor de potencia de una instalación es el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente que para el caso de una instalación donde no hay armónicas coincide con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente de la instalación.
7. Los condensador estará equipado con resistencias de descarga permanente conectadas que absorban la carga acumulada, de tal modo que, después de desconectar el condensador de la red, la tensión residual sea reducida por lo menos a 75 V en 3 minutos, para condensadores de hasta 660 V, y en menos de 10 minutos, para los condensadores de más de 660 V.

8. Todo el equipo que se utilice con un condensador, es decir conductores, barras, interruptores, fusibles, etc., estará dimensionado para admitir permanentemente, sin sobrecalentamiento, una corriente de magnitud por lo menos igual a 1,35 veces la corriente nominal del condensador.
9. Cada unidad de una batería de condensadores en baja tensión debe estar protegida con un fusible calibrado para un 200% de la corriente nominal de la unidad y que actúe en caso de cortocircuito interno. Se exceptúan, de esta exigencia, los condensadores cuyos elementos constituyentes internos tienen cada uno un fusible que aísla a ese elemento en caso de cortocircuito producido en él. Cuando de un mismo juego de barras de un tablero de distribución se alimenta más de un condensador, de tal manera que pueda entrar en servicio un condensador estando otro ya conectado, deberá instalarse una reactancia en aire de 0,5 %, en serie entre cada condensador y su dispositivo de maniobra.
10. Los contactores para compensación reactiva están equipados con un bloque de contactos principales y conectados en serie con resistencias de preinserción, que limita la intensidad en la conexión a $60 I_n$. Esto reemplaza el uso de la inductancia de choque en las baterías.
11. Las inductancias se diseñan para trabajar en redes con un alto grado de contaminación armónica, de manera que permitan un servicio seguro y fiable de los condensadores.

ANEXOS

ANEXO A

CONCEPTOS BASICOS

Potencia Eléctrica .-

Para entender qué es la potencia eléctrica es necesario conocer el concepto de "energía", que no es más que la capacidad que tiene un mecanismo o dispositivo eléctrico cualquiera para realizar un trabajo. Cuando conectamos un equipo o consumidor eléctrico a un circuito alimentado por una fuente de fuerza electromotriz (F.E.M), la energía eléctrica que suministra fluye por el conductor, permitiendo que, por ejemplo, una bombilla de alumbrado, transforme esa energía en luz y calor, o un motor pueda mover una maquinaria. En el caso de la energía eléctrica esa transformación se manifiesta en la obtención de luz, calor, frío, movimiento (en un motor), o en otro trabajo útil. La energía utilizada para realizar un trabajo cualquiera, se mide en "joule" y se representa con la letra "J".

Potencia es la velocidad a la que se consume la energía. Si la energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene. La potencia se mide en joule por segundo (J/seg.) y se representa con la letra P. Un J /seg. equivale a 1 vatio (W), También se le denomina Potencia Activa

Esta potencia es, la que realmente es consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

$$P = I \cdot V \cdot \cos \emptyset = I \cdot Z \cdot I \cdot \cos \emptyset = I^2 \cdot Z \cdot \cos \emptyset = I^2 \cdot R \quad (A.1)$$

Resultado que indica que la potencia activa se debe a los elementos resistivos. Donde se ve asociada directamente al $\cos \varnothing$.

Potencia Aparente.-

La potencia aparente de un circuito eléctrico de corriente alterna, es la suma fasorial (Ver Fig. A.1) de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes.

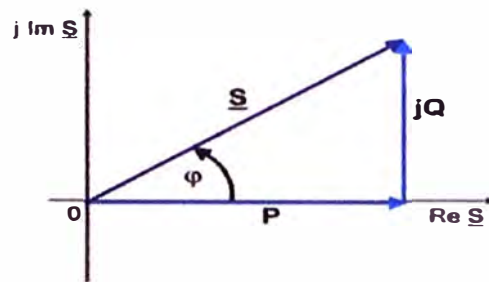


Fig A.1. Representación fasorial de potencias.

Como se muestra en la Fig. A.1 Esta potencia no es la realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \varnothing = 1$), y nos señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "entretener" bobinas y condensadores. Se la designa con la letra S y se mide en volt-amperios (VA).

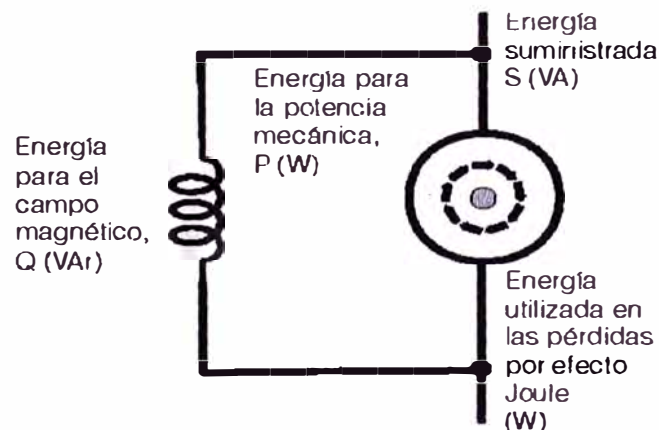


Fig. A.2. Distribución de la energía suministrada S.

Potencia reactiva.-

Esta potencia no tiene tampoco el carácter de realmente consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil. Se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q.

A partir de su expresión,

$$Q = I \cdot V \cdot \sin \varnothing = I \cdot Z \cdot I \cdot \sin \varnothing = I^2 \cdot Z \cdot \sin \varnothing = I^2 \cdot X$$

(A.2)

Lo que nos reafirma en que esta potencia es debida solamente a los elementos reactivos.

ANEXO B

RESONANCIA PARALELO

En un circuito paralelo formado por una rama capacitiva y otra inductiva, en el cual, cualquiera de las ramas o ambas, pueden tener resistencia serie (ver Fig. B.1), la resonancia paralelo puede ser definida en los siguientes términos:

1. La frecuencia a la cual la reactancia inductiva iguala a la reactancia capacitiva ($X_L = X_C$).
2. La frecuencia a la cual la corriente total (de línea) está en fase con el voltaje aplicado. Esta es la condición para factor de potencia igual a la unidad ($\cos \phi = 1$).

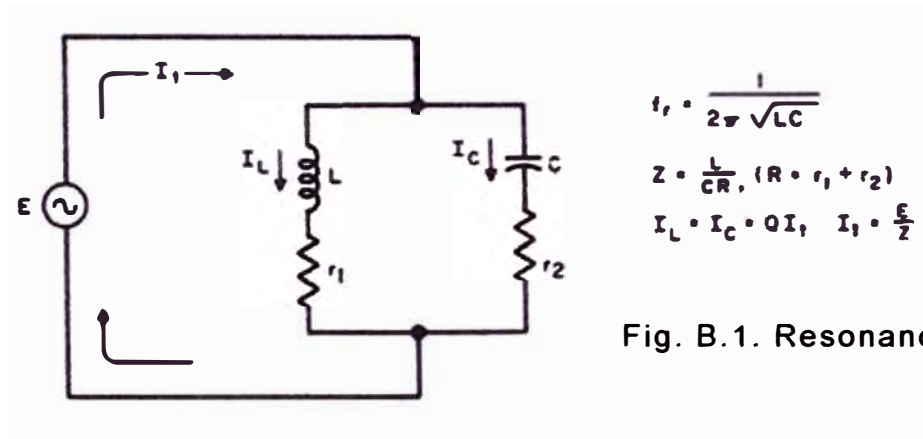


Fig. B.1. Resonancia en paralelo.

3. La frecuencia a la cual la impedancia del circuito sintonizado paralelo (tanque) es máxima y, por lo tanto, la corriente es mínima.

Cuando el Q del circuito es bajo (resistencia alta), cada una de estas definiciones da una frecuencia de resonancia ligeramente diferente para la resonancia paralelo. Para un Q mayor que 10, la frecuencia de resonancia difiere en menos del uno por ciento y para propósitos

prácticos, ésta es igual a la frecuencia de resonancia serie ($X_L = X_C$), es decir,

$$\text{frecuencia de resonancia, } f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

Además, cuando $Q > 10$:

impedancia total, $Z = Q X = Q \omega L = \omega L / (\omega C R) = L / (C R)$ (ohms)

$$\text{donde } Q = X/R ; \quad \frac{1}{X} = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$X = 2\pi f_r L$$

y $R = r_1 + r_2$

Dado que el ángulo de fase es cero ($\Theta = 0^\circ$) en resonancia paralelo, la impedancia es puramente resistiva y es de valor máximo. La corriente total (de línea) es,

$$I_t = \frac{E}{Z} = \frac{E}{Q\omega L}$$

es un mínimo a resonancia y está en fase con el voltaje aplicado. La corriente de las ramas es igual a Q veces la corriente de línea (total):

$$I_L = I_C = Q I_t$$

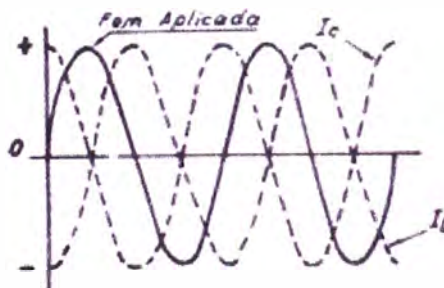


Fig. B.2 Relaciones de fase entre tensión y corrientes en un circuito resonante en paralelo.

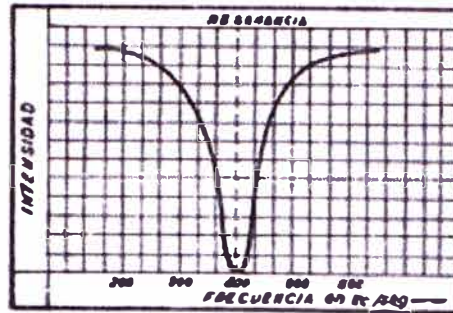


Fig. B.3 Curva de resonancia de un circuito sintonizado en paralelo.

En un circuito sintonizado paralelo, contrariamente a lo que ocurría en los circuitos serie, la corriente de línea, medida en el punto en que conectamos el amperímetro, es mínima bajo condiciones de resonancia. Aplicando una tensión alterna de frecuencia fija a los bornes de entrada, disminuyendo el valor de capacidad, de modo que su reactancia sea comparativamente elevada con respecto a la reactancia inductiva de la bobina es natural que casi toda la corriente del circuito hará su paso por el inductor y será acusada por el instrumento intercalado. Esta corriente estará limitada por la impedancia del bobinado. Si se aumenta el valor de la capacidad de manera que resulte menor su reactancia con respecto a la reactancia del bobinado, naturalmente que el fenómeno será opuesto. La mayor parte de la corriente circulará por el capacitor y será limitada también por la impedancia del mismo a la frecuencia de línea. Volviendo a ajustar nuevamente el capacitor, ahora hasta un valor tal que su reactancia a la frecuencia de tensión aplicada sea exactamente igual a la reactancia de la bobina a esa misma frecuencia, evidentemente llegamos a la condición de resonancia descrita. Dado que en el circuito inductancia y capacidad están en paralelo, y sus reactancias son exactamente iguales; resonancia, es evidente que la intensidad será igual en la rama capacitiva que en la inductiva. Y como la intensidad de la bobina se encuentra atrasada 90 grados con respecto a la tensión y en el capacitor se halla adelantada, sin duda que equivale esto a dos intensidades con sentidos opuestos, como se ve en la Fig. B.3.

ANEXO C

TARIFA

BT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	SI./mes	4,22
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. SI./kW.h	17,21
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. SI./kW.h	13,3
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	SI./kW-mes	35,67
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	SI./kW-mes	37,16
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	SI./kW-mes ctm.	29,86
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa.	SI./kVar.h	4,25
BT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	SI./mes	3,58
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. SI./kW.h	17,21
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. SI./kW.h	13,3
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	SI./kW-mes	36,23
	Presentes Fuera de Punta	SI./kW-mes	24,31
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	SI./kW-mes	38,29
	Presentes Fuera de Punta	SI./kW-mes ctm.	35,22
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa.	SI./kVar.h	4,25
BT4:	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 1E1P		
	Cargo Fijo Mensual	SI./mes	3,58
	Cargo por Energía Activa	ctm. SI./kW.h	14,4
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	SI./kW-mes	36,23
	Presentes Fuera de Punta	SI./kW-mes	24,31
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	SI./kW-mes	38,29
	Presentes Fuera de Punta	SI./kW-mes ctm.	35,22
		Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa.	SI./kVar.h

CUADRO TARIFARIO PARA LIMA METROPOLITANA SET - 2006.

Nota : Solo incluye las categorías con cargos por energía reactiva en baja tensión.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gunter G. Seip, "Instalaciones Eléctricas" Tomo II
Siemens Aktiengesellschaft, Berlin y Munich, 2da. Edición 1989
2. Ramirez J., " El factor de potencia"
CEAC Barcelona España. Primera Edición. 1985.
3. ABB " Power^{iT} LV Capacitor CLMD " 9na. Edición Febrero
2003.
4. Schneider Electric " Manual teórico práctico Schneider" Tomo E
La compensación de la energía reactiva. España. 2003.