



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

“Compensación del Factor de Potencia Median-
te Condensadores en Baja Tensión en la Plan-
ta de Canteras Basáltica Picoaza”

Informe Técnico

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Especialización: POTENCIA

Presentado por:

Otto Sarmiento T.

Guayaquil - Ecuador

1989

A G R A D E C I M I E N T O

Al ING. LEO SALOMON
Director del Informe,
por su ayuda y cola-
boración para la rea-
lización de este tra-
bajo.

* *



Ing. Hernán Gutiérrez
DECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA ELECTRICA



Ing. Leo Salomón
DIRECTOR DE INFORME TECNICO



Ing. Armando Altamirano
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACION EXPRESA

LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.



OTTO SARMIENTO TOMALA

INDICE GENERAL

CONTENIDO

INTRODUCCION

I.	DESCRIPCION DEL SISTEMA	9
1.1.	Antecedentes	9
1.2.	Sistemas existentes	9
II.	REPASO DE ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES	12
2.1.	Corrientes	12
2.2.	Potencias	13
2.3.	Factor de potencia instantáneo	15
2.4.	Factor de potencia medio	16
2.5.	Importancia del factor de potencia	17
III.	DETERMINACION DE KVARs. A COMPENSAR EN LOS BANCOS DE TRANSFORMADORES No. 1 Y 2.	19
3.1.	Mediciones e instrumentos utilizados	19
3.2.	Calculo de las baterias de condensadores	21
3.3.	Elección del tipo de batería a utilizarse: .fijo? .automático? .semi-automatico?	23
3.4.	Determinacion de la forma de compensación a aplicar: .global? .parcial? .individual?	33

IV. DISEÑO Y FABRICACION DE LOS TABLEROS DE	
CONDENSADORES.	41
4.1. Descripción de elementos principales que conforman los tableros: bases portafusibles, fusibles, contactores y condensadores. . . .	41
4.2. Descripción del relé regulador de potencia reactiva a emplear	43
4.3. Cálculo de las protecciones general y por escalón. Elección de los equipos de maniobra para el automatismo. Cálculo de inductancias de choque	50
4.4. Consideraciones técnicas para la construcción de los tableros	60
4.5. Diseño, diagramas unifilares y de control de los equipos.	64
V. INSTALACION ELECTRICA DE LAS BATERIAS DE	
CONDENSADORES.	69
5.1. Cálculo de las alimentadoras principales y elementos adicionales	69
5.2. Consideraciones para la batería No. 1: secuencia de fases, polaridad y relación de transformación del T. C. de medición. . .	70
5.3. Consideraciones para los tableros No. 2: para acoplar a cargas individuales.	73

VI. PUESTA EN SERVICIO.	75
6.1. Verificación de condiciones de conexiones.	75
6.2. Verificación de parámetros eléctricos antes y después de la operación de los equipos.	76
6.3. Verificación de la temperatura ambiental y descarga de los condensadores cuando se les quita energía.	77
6.4. Calibración del relé varimétrico: $\cos.\varphi$ relación c/k en el tablero No. 1.	78
6.5. Verificación de la influencia de armónicos en los diversos escalones.	80

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFIA.

I N T R O D U C C I O N

Este informe se refiere al factor de potencia en una planta industrial: algunos procedimientos para mejorarlo, las diferentes alternativas que se pueden escoger, ventajas y ciertas precauciones para optimizar su utilización y durabilidad.

En el capítulo uno se hace una descripción de la industria en la que se hará la compensación del factor de potencia. El capítulo tres se refiere a algunas prácticas para realizar las mediciones y cálculos para la determinación de las capacidades necesarias para la compensación. También se incluyen criterios para escoger las mejores alternativas desde el punto de vista técnico y económico a ser aplicado en cada banco de transformadores.

Posteriormente se analizarán las características técnicas de construcción de los gabinetes metálicos en que irán ubicados los condensadores. Cálculo de las protecciones y conductores a ser empleados.

Finalmente se darán las consideraciones para la instalación eléctrica y la puesta en servicio de las baterías de condensadores.

I. DESCRIPCION DEL SISTEMA

1.1. ANTECEDENTES.

La compañía CANTERAS BASALTICAS "PICOAZA", está localizada en Portoviejo-Manabí. Esta Empresa, está dedicada a la fabricación de materiales para la construcción.

A fines del año pasado empezó a sufrir un fuerte recargo en la facturación por concepto de consumo de energía eléctrica de parte de EMELMANABI.

Este recargo se debió al bajo factor de potencia que mantenía esta industria.

Por este motivo, los empresarios se vieron en la necesidad de darle atención a este problema.

1.2. SISTEMAS EXISTENTES.

Inicialmente el sistema eléctrico lo constituía un banco de tres transformadores convencionales de 167KVA. cada uno; de 13.200/480V., mediante el cual se alimentaba a la planta, que con el tiempo se la llegó a conocer como la No. 1.

Posteriormente la empresa amplió sus instalaciones, para lo cual instaló otro banco de trans-

formadores de similares características que el anterior. Este banco alimentaría a la planta No. 2.

Esta segunda planta es de un diseño más moderno que la No. 1. Sus motores más importantes difieren notoriamente en sus ubicaciones correspondientes.

Físicamente están ubicadas a 150 Mt. entre sí, junto con sus correspondientes subestaciones y cuartos de tableros de distribución y control.

Adicionalmente hay un transformador tipo convencional de 50KVA.; 7.620/240-120V., el cual sirve para alimentar a las oficinas y alumbrado del campamento. Este transformador está protegido por fusibles de 15A., tipo K, aunque lo recomendable debería ser de 8 Amp.

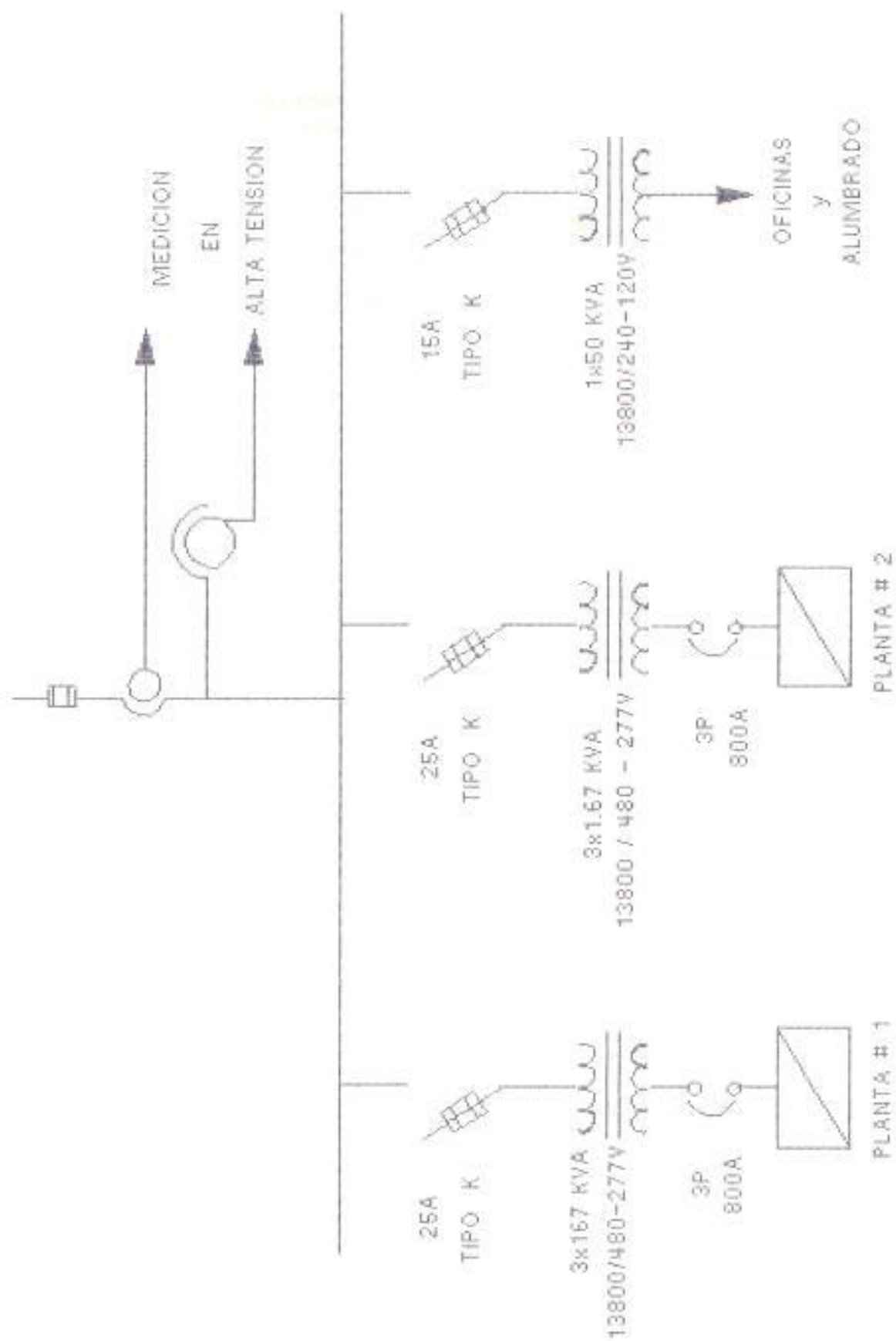


Fig. 1.1 SISTEMA ELECTRICO EXISTENTE DE CANTERAS BASALTICAS PICOAZA

II. REPASO DE ALGUNOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Antes de entrar en materia, conviene repasar algunos conceptos ya conocidos y que hacen referencia a las corrientes y potencias presentes en los circuitos de corriente alterna.

De acuerdo con este criterio, en cualquier instalación industrial de corriente alterna, conviene distinguir los siguientes parámetros:

2.1. CORRIENTES (FIG. No. 2.1)

2.1.1. Corriente eficaz I que es la que pasa por la línea y mide el amperímetro.

2.1.2. Corriente activa I_a llamada también corriente vatiada, es la que produce la potencia mecánica o térmica que se necesita en la instalación. Está expresada por:

$$I_a = I \times \cos.\varphi$$

2.1.3. Corriente reactiva I_r llamada también corriente magnetizante, que sirve para producir los campos magnéticos de inducción en los diversos receptores de la instalación (motores, transformadores, etc....).



Fig. 2.1 Diagramas vectoriales de las corrientes (a) y potencias (b) en una instalación eléctrica.

No produce potencia mecánica ni térmica y está expresada por:

$$I_r = I \times \text{Sen. } \varphi$$

Estas 2 últimas corrientes no pueden medirse directamente, sino que debe determinarse a partir de las indicaciones de diversos aparatos de medida.

2.2. POTENCIAS (FIG. No. 2.1)

2.2.1. Potencia aparente S que se expresa en voltamperios (VA) y se determina a partir de las indicaciones de un amperímetro y un voltímetro. Está expresada por la fórmula: $S = V \times I$ (V.A.)

Cuando se trata de una instalación de corriente alterna trifásica, la potencia aparente se calcula por la fórmula:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (V.A.)}$$

2.2.2. Potencia activa P. Llamada también potencia efectiva y potencia real. Solamente esta potencia se puede transformar en potencia mecánica ó en potencia calorífica.

Está expresada por:

$$P = V \times I \times \cos \phi \text{ (W)}$$

Si se trata de una instalación de corriente alterna trifásica, la potencia activa está expresada por:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \text{ (W)}$$

2.2.4. Potencia reactiva Q. llamada también potencia magnetizante, resulta necesaria para el funcionamiento de ciertas máquinas y dispositivos eléctricos (motores, transformadores, bobinas, relés, etc....) pero no puede transformarse en potencia mecánica o calorífica útil, pero causa pérdidas adicionales en los equipos que

transportan la energía. Está expresada por:

$$Q = V \times I \times \text{SEN } \varphi \quad (\text{VAR})$$

En el caso de una instalación trifásica de corriente alterna, la potencia reactiva se determina por la siguiente fórmula:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Sen.} \varphi \quad (\text{VAR})$$

2.3. FACTOR DE POTENCIA INSTANTANEO

En un instante dado una instalación eléctrica que consta de: motores, transformadores, lámparas etc. absorbe una potencia activa y una potencia reactiva. Cada una de estas potencias es la suma aritmética de las potencias activas por una parte y de la suma algebraica de las potencias reactivas por otra parte, absorbidas por los distintos aparatos en funcionamiento. De acuerdo con lo expresado en el triángulo de potencia (Fig. No. 2.1b), se tiene que:

$$\text{Tg } \varphi \text{ (instantáneo)} = \frac{\sum Q}{\sum P}$$

A este valor de $\text{Tg.} \varphi$ (instantáneo), corresponde un valor de $\text{cos.} \varphi$ que se denomina factor de potencia instantáneo.

2.4. FACTOR DE POTENCIA MEDIO

Evidentemente, las potencia activa y reactiva de una instalación varían en cada instante, de acuerdo con las necesidades del usuario, es decir, de las características de las cargas conectadas al sistema. Por consiguiente, también varía el factor de potencia instantáneo. De esta forma y durante un tiempo determinado t , se puede definir un factor de potencia medio, que corresponde a:

$$\text{Tg } \varphi \text{ (medio)} = \frac{\text{Potencia reactiva media}}{\text{Potencia activa media}}$$

A este valor de $\text{Tg } \varphi \text{ (medio)}$, corresponde un valor de $\cos \varphi$, que se denomina factor de potencia medio.

La Empresa Eléctrica acostumbra a establecer un factor de potencia mensual, según lo indiquen los medidores de energía activa y reactiva.

En cuanto a los medidores de energía reactiva que se usa comúnmente es necesario mencionar que estos en realidad no miden energía reactiva porque ésta es igual a cero en un ciclo completo y por lo tanto es imposible medirla directamente.

De manera que para poder cobrarla lo que se mide es una energía activa, que es proporcional a la energía reactiva, lo cual se consigue por medio de desfasar el voltaje 90° en adelante con respecto a la corriente, utilizando para esto desfases en los medidores de energía activa.

2.5. IMPORTANCIA DEL FACTOR DE POTENCIA

Aparte de la multa propiamente dicha, establecida según el Reglamento Nacional de Acometidas, hay otros aspectos de carácter técnicos en los cuales el valor del factor de potencia tiene alta incidencia, por ejemplo para una instalación dada, se tiene:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos.\varphi$$

De aquí se puede observar que para una determinada instalación se obtiene mayor o menor potencia dependiendo del valor del factor de potencia. Si se tiene bajo factor de potencia, aumentan las caídas de tensión y las pérdidas por efecto Joule, que aumentan proporcionalmente con el cuadrado de la intensidad de corriente.

En conclusión se puede decir que: Para una instalación eléctrica dada, si disminuye el factor de potencia, disminuye también el rendimiento de la instalación.

III. DETERMINACION DE KVAR. A COMPENSAR EN LOS BANCOS DE

TRANSFORMADORES No. 1 Y 2

3.1. MEDICIONES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.

Cada una de las dos líneas de producción trabaja individualmente, pero en cada línea funcionan todos los motores ó todos están apagados. Esto permite tener una carga básicamente estable en cualquier momento del día, por lo tanto el factor de potencia medio será muy próximo al instantáneo.

Dadas estas condiciones, se programó con el departamento de producción de **Canteras Basálticas** los días en que se realizarían las mediciones.

El equipo de medición utilizado es del tipo de medición indirecta instantánea digital que mide factores de potencia atrasado ó en adelanto, en sistemas trifásicos balanceados o desbalanceados.

En la pantalla se puede leer factor de potencia desde el 30.0% al 99.9%.

Adicionalmente, se puede leer por medio de un selector, el voltaje y corriente de línea. Cuando el factor de potencia es un adelanto, se

enciende un diodo emisor de luz (LED) que indica esta condición.

Se determinaron tres días durante los cuales se realizaron mediciones por 1/2 hora en cada banco de transformadores. Estas condiciones de cargas eran propicias para realizar esta forma de medición porque de otra manera si los niveles de cargas fueran muy variables durante el día de trabajo se hubiera tenido que utilizar un equipo especial y costoso, del tipo registrador gráfico en cartas a escala.

En la tabla I, aparecen los valores promedios medidos en los dos bancos de transformadores. De aquí se puede observar que la subestación No. 1 es la que mayor carga tiene y con un factor de potencia menor que la No. 2.

Tabla I

VALORES MEDIDOS EN LAS SUB-ESTACIONES

SUB-EST.	VL-L. (VOLTS)	I (AMPS)	F.P.	P. (KW.)
No. 1	470	280	0.5	113.83
No. 2	480	180	0.62	92.7

3.2. CALCULO DE LAS BATERIAS DE CONDENSADORES

En ambos casos el propósito será elevar el factor de potencia a 0.95 inductivo.

Para el caso de la sub-estación No. 1, según la Fig. 3.1.

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{Sen } \phi$$

$$\phi_1 = \arccos. (0.5) = 60^\circ$$

Reemplazando valores: $Q = \sqrt{3} \times 470 \times 280 \times \text{Sen } 60^\circ$

$$Q_1 = 197,15 \text{ KVAR.}$$

Calculando de la fig. No. 3.1.

$$\phi_2 = \arccos. (0.95)$$

$$= 18,19^\circ$$

Entonces $Q_2 = P_1 \times \text{Tg. } (\phi_2)$

$$Q_2 = 113,63 \times 0,32 = 36,42 \text{ KVAR.}$$

Por tanto, el valor a compensar sería:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 159,37 \text{ (KVAR).}$$

De acuerdo con los valores normalizados de condensadores se pondrá una batería de 165KVAR.

Las capacidades normalizadas para 220/380/440V. son de: 5.0; 7.5; 10.0; 12.5; 15.0; 17.5; 20.0; 22.5; y 30.0KVAR.

Para la Sub-estación No. 2 se tendrá:

$$\varphi_1 = \arccos. (0,62) = 51,68^\circ$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= \sqrt{3} \times 480 \times 180 \times \text{Sen } 51,68^\circ \\ &= 117,26 \text{ (KVAR)}. \end{aligned}$$

Entonces $Q_2 = 92,67 \times 0,32 = 29,65 \text{ (KVAR)}$

El valor a compensar será:

$$Q_c = 117,26 - 29,65 = 87,61 \text{ (KVAR.)}$$

El banco de condensadores será de 85KVAR.

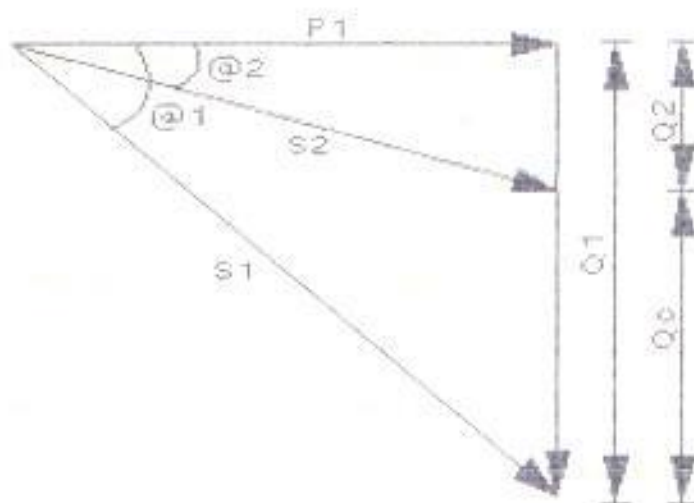


Fig. 3.1 Triángulo de potencias

3.3. ELECCION DEL TIPO DE BATERIA A UTILIZARSE:

.FIJO? .AUTOMATICO? .SEMI-AUTOMATICO?

Los condensadores pueden acoplarse al sistema de las tres formas que están supracitadas.

La compensación automática, es la que consta de modo particular de un relé regulador de potencia reactiva ó varmétrico el cual controla de forma automática las entradas y salidas de las diferentes etapas ó escalones que conforman una batería de condensadores, según lo requiera la carga.

Esta forma de aplicación, permite mantener siempre el factor de potencia en un valor deseado e indicado por el regulador varmétrico.

Regularmente estos tipos de baterías se utilizan en los centros generales de distribución en baja tensión. También se hacen necesarios cuando en un sistema determinado hay grandes salidas de cargas, lo que pudiera dar lugar a que en un momento determinado se quede conectado al sistema una cantidad importante de KVAR., lo cual podría causar elevaciones peligrosas del voltaje, por eso, como regla general, si la capacidad de la

batería de condensadores es superior al 15% de la potencia nominal de los transformadores en KVA., es necesario poner un sistema automático. En algunas partes de Europa se exige esta regulación automática, cuando la potencia reactiva de los condensadores es superior a 75KVAR sin dependencia ni del voltaje ni del factor de potencia.

Adicionalmente, esta automatización es necesaria cuando la optimización de la red es indispensable, lo que implica un factor de potencia controlado y corregido permanentemente, cualquiera que sean las variaciones de carga y en cualquier momento del día. Desde el punto de vista económico, este sistema es el más costoso, con respecto a los otros dos. Aunque también depende del tamaño de la batería, porque mientras más grande, el precio por KVAR instalados es menor.

Para el caso que es de nuestra consideración en ambas sub-estaciones se cumplen los factores necesarios para un sistema automático, porque en ambos casos las capacidades en KVAR. a instalarse son superiores al 15% de los KVA. de los transformadores. Sin embargo, solo para el caso

del banco No. 1, se utilizará una batería automática; que como se calculó anteriormente, tendrá que ser de: 165KVAR. en 440V.

Para el caso del banco No. 2 se escogerá una batería semi-automática por las siguientes razones:

.Qué es una batería semi-automática? Es un sistema de instalación y operación en el cual las diferentes etapas en las que se divide el total de los KVAR, no son maniobradas automáticamente por un relé varmétrico, sino por señales de control procedentes de cargas significativas del sistema, los cuales por lo general son motores.

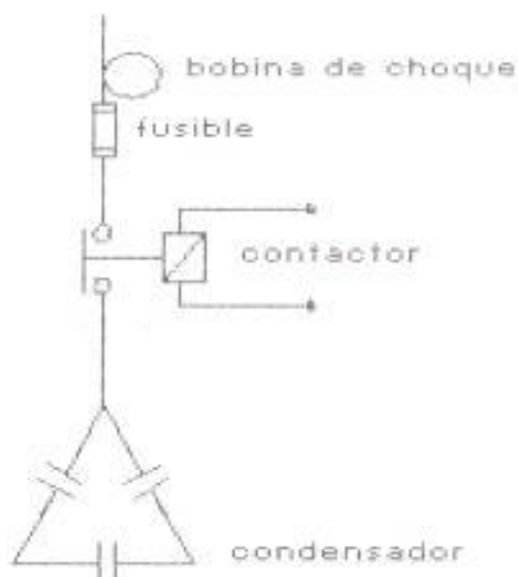


Fig. No. 3.2 COMPENSACION SEMI-AUTOMATICA TIPICA

Es necesario también para poder emplear eficazmente la compensación semi-automática que la mayor parte de la carga esté dada por las cargas significativas porque si esto no se cumpliera y sea más bien la suma de receptores pequeños los que hagan la mayoría, los cuales muchas veces trabajan sin ninguna secuencia o dependencia de los demás, pudiera ocurrir que si uno de estos deja de trabajar por diversos motivos, entonces una ó varias etapas de la batería también saldrían de operación.

En la siguiente tabla se dan valores de potencia de las baterías de condensadores en KVAR. a instalar en función de la potencia de los motores.

Se dan dos tablas para establecer comparaciones, en la II se darán valores para sistemas Americanos y en la III para sistemas europeos.

Los motores existentes en **CANTERAS BASALTICAS** son de procedencia Americanos.

TABLA II

CAPACIDADES RECOMENDADAS DE CONDENSADORES PARA
MOTORES DE INDUCCION (SISTEMA AMERICANO)

POTENCIA EN H. P. MOTORES	VELOCIDAD R. P. M.				
	3600	1800	1200	900	600
10	2	2	4	5	5
15	4	4	5	5	5
20	4	5	5	5	10
25	4	5	5	5	10
30	5	5	5	10	10
40	5	5	10	10	10
50	5	10	10	15	25
60	5	10	10	15	30
75	10	10	15	15	40
100	15	20	25	30	45
125	15	20	30	30	50
150	15	25	30	40	60
200	40	40	45	50	75
250	45	50	50	70	90
300	50	50	70	70	105

TABLA III

CAPACIDAD RECOMENDADA DE CONDENSADORES PARA COMPENSAR
A MOTORES INDIVIDUALES (SISTEMA EUROPEO)

POTENCIA DE LOS MOTORES KW.	VELOCIDAD R. P. M.				
	3000	1500	1000	750	600
	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR	KVAR
5	2	3	3	3,5	-
10	2,75	4,5	4,5	5,5	5,5
15	2,75	5,5	5,5	6,5	8,5
20	5,5	6	6	9	11
25	6	8,5	8,5	11,5	12
30	8,5	11	11	12	14
40	12	12	12	14	17
50	14	14	14	17	22
60	17	17	17	20	25
75	20	19,5	20	22,5	30
100	25	25	25	27,5	38
125	28	30,5	30	33	44
150	35	38,5	39	41,5	53
200	45	47	47	50	66
250	50	50	55	65	75
300	55	55	75	75	80

Los condensadores a instalar se calcularán en función de las características de los motores.

Para los motores de potencia superior o igual a 250KW, la potencia de la batería de condensadores en KVAR, será del orden del 20% de la potencia nominal del motor en KW.

Será necesario verificar que la potencia reactiva suministrada por la batería (Q_c) no exceda del 90% de la corriente magnetizante necesaria.

$$Q_c = 0,9 \times I_0 \times \sqrt{3} \times V_n.$$

donde Q_c = potencia en KVAR.

I_0 = Intensidad magnetizante (en vacío) en Amp.

V_n = Tensión de la instalación ($\sqrt{3}$ para un sistema 3 ϕ) V.

Si la corriente (I_c) suministrada por la batería de condensadores al motor es superior al 90% de la intensidad magnetizante necesaria, pueden producirse en el momento del corte de la red de alimentación, sobre-tensiones de corta duración si la forma de arranque del motor es del tipo directo.

En caso de arranque estrella-triángulo esta sobretensión puede amplificarse y alcanzar valores de 2,5 a 3 V_n . cuando se produce la conmutación

de estrella a triángulo, por lo tanto es necesario que los condensadores sean conmutados simultáneamente con los arrollamientos del motor, para esto es necesario utilizar un contactor para el condensador, el cual debe cerrar cuando opere el contactor para formar el triángulo en el motor.

Un caso similar se presenta para un arranque por autotransformador, en el cual es recomendable que el condensador actúe cuando el motor ya ha terminado su ciclo de arranque y el autotransformador ha salido del circuito.

Diagramas unifilares típicos se muestran en la Fig. No. 3.3.

Un caso particular de sobrevoltajes, se puede producir cuando el condensador está conectado directamente a bornes del motor, de modo que cuando se produce la interrupción de la energía eléctrica, la energía dinámica almacenada en el rotor mantiene a éste girando, lo cual induce voltaje en el estator, al cual tenemos conectado un condensador que tiene energía almacenada, por lo cual puede producirse voltajes del orden del 135-175% del voltaje nominal.

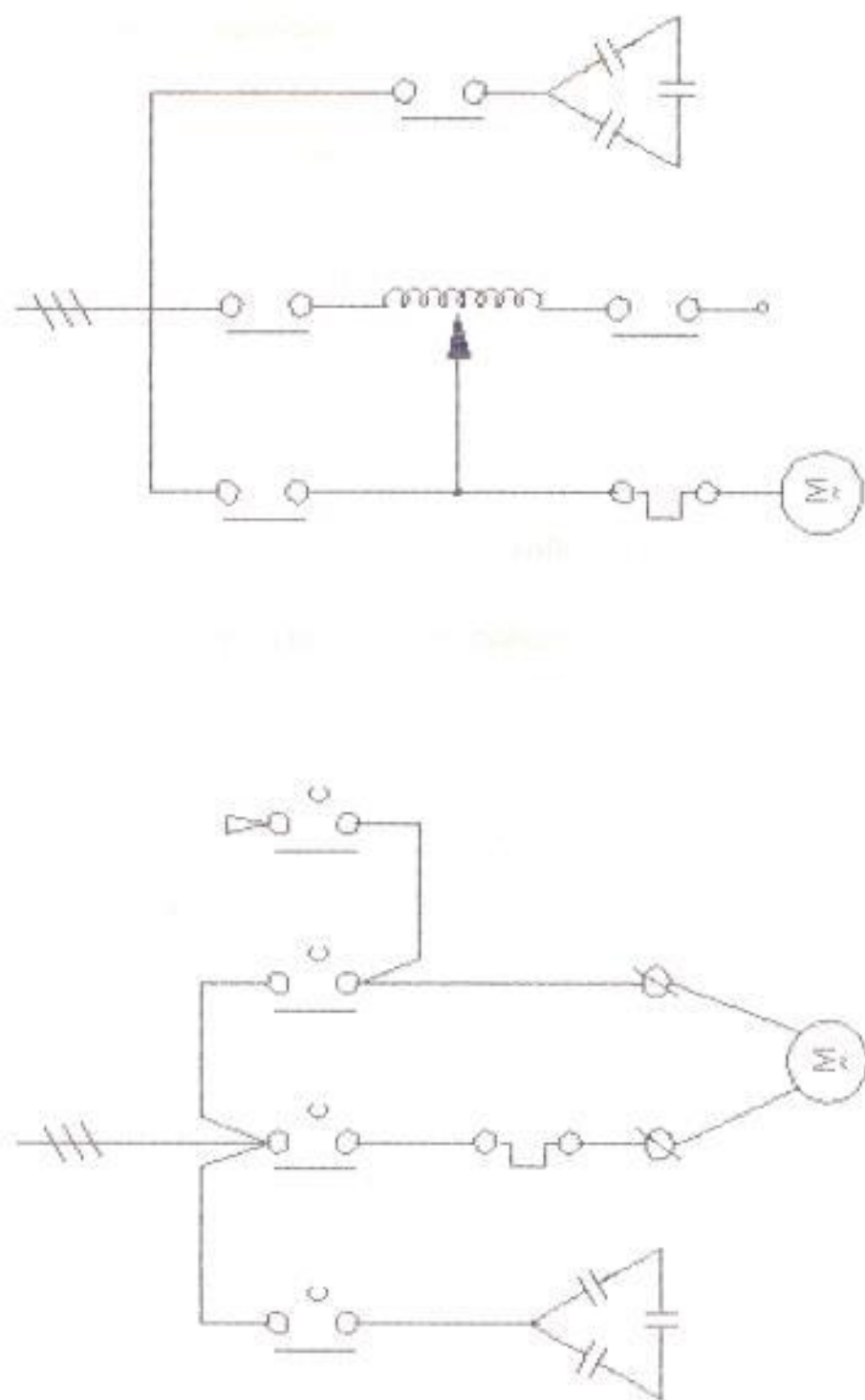


FIG. # 3.3 DIAGRAMAS UNIFILARES DE CONDENSADORES ACOPLADOS A MOTORES CON ARRANQUES ESPECIALES.

En la planta No. 2 de CANTERAS PICOAZA, se daban las condiciones para efectuar este sistema de compensación, porque la carga estaba distribuida de la manera que aparece en la tabla IV por lo tanto, se podría obviar al relé varmétrico reduciendo de esta manera el costo del equipo, porque individualmente este relé es el elemento de mayor costo.

TABLA IV

DISTRIBUCION DE CARGAS DE LA PLANTA No. 2

<u>EQUIPO</u>	<u>HP.</u>	<u>R.P.M.</u>
MOLINO No. 1	200	1.772
MOLINO No. 2	60	1.750
MOLINO No. 3	60	1.750
TRANSPORTADORES	50	1.770

Aunque los molinos están sobre-dimensionados, sin embargo, esta distribución se prestaba para esta forma de compensación. Cabe anotar también, que el molino No. 1, tiene un arranque por autotransformador.

De acuerdo con las tablas II y IV, decidimos dividir la batería en cuatro etapas distribuidas de la siguiente manera:

TABLA V

DISTRIBUCION DE KVAR POR ETAPAS EN PLANTA No. 2

EQUIPO -----	KVAR. -----
MOLINO No. 1	40
MOLINO No. 2	15
MOLINO No. 3	15
TRANSPORTADORES	15

3.4 DETERMINACION DE LA FORMA DE COMPENSACION A APLICAR: .GLOBAL? .PARCIAL? .INDIVIDUAL?.

La compensación global (ó centralizada) en general conviene a las instalaciones de pequeña potencia y cuando las líneas de alimentación principal no están demasiadas cargadas. También se emplea, en las grandes estaciones de transformación y de distribución.

La batería de condensadores se montan en celda propia o tablero exclusivo, según los casos y se conectan a las barras de distribución.

Como aparatos de maniobra se emplean:

- Contactores.
- Disyuntores automáticos.

De estos dos el contactor es el de uso mas común en nuestro medio.

Como dispositivos de descarga de los condensadores:

- Los devanados de baja tensión del propio transformador principal.
- Resistencias de descarga.
- Reactancias de descarga.

La mejor forma de descarga sería con reactancias porque es la más rápida, sin embargo, comúnmente se usan las resistencias, de tal manera que puedan bajar la tensión en los bornes a 50V. en 1 minuto después de desconectar la tensión. Aunque esta forma es más lenta, sin embargo, es suficiente para las necesidades del caso.

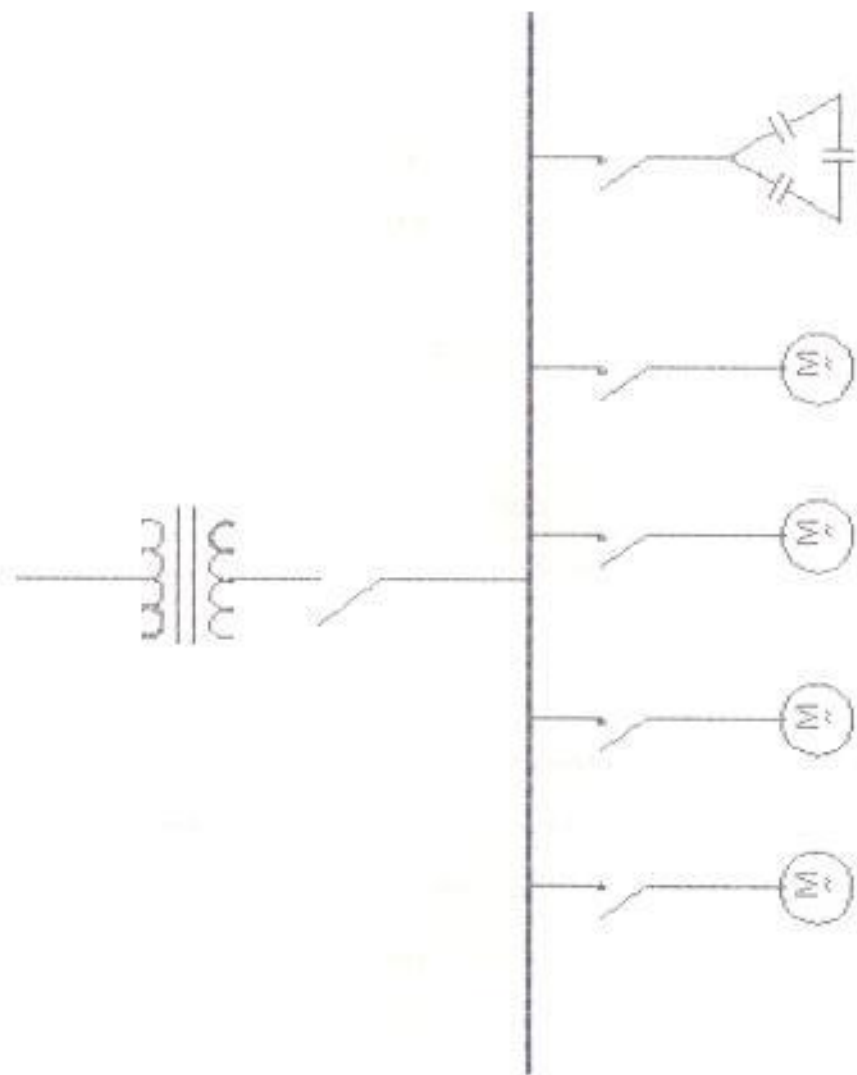


FIG. # 3.4 SISTEMA TIPICO DE COMPENSACION CENTRALIZADA

Como protección contra corto-circuitos, se emplean:

- Disyuntores electromagnéticos.
- Fusibles de acción retardada.

En los bancos No. 1 y 2 se puede esperar la siguiente corriente de cortocircuitos:

$$I_{cc} = \frac{KVA \times 100}{1,73 \times KVA \times \frac{1}{2} Z}$$

$$I_{cc} = \frac{500 \times 100}{1,73 \times 0,48 \times 0,05} = 12,43KA.$$

Para cubrir esta corriente de cortocircuito es necesario proteger con breaker que por lo menos tengan un poder de corte de 14KA. a este voltaje. Sin embargo, los fusibles ofrecen 100KA. de capacidad de ruptura y tienen un precio que es 5 veces menor que los breakers, por lo tanto, el fusible es el elemento comúnmente utilizado.

En la planta No. 1 de **Canteras Basálticas**. La carga solo representa el 45,44% de la capacidad

de los transformadores, por lo tanto, no hay problemas de transformadores y líneas sobrecargadas, de manera que para este caso se puede utilizar una compensación centralizada. Este tablero con la batería de condensadores iría junto al tablero de distribución principal en el mismo cuarto de tableros.

Como observación a este tipo de compensación se tiene que la corriente reactiva estará presente en todo el sistema desde el nivel donde se conectan los condensadores hasta las cargas, por lo tanto, las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuídas.

En el caso de la planta No. 2, la carga solo representa el 29,83% de la capacidad en transformadores, de modo que tampoco hay problemas de falta de capacidad. Sin embargo, se había determinado una compensación semi-automática en el artículo anterior, esto permite efectuar una compensación por grupo o parcial, la cual constaría de 4 etapas.

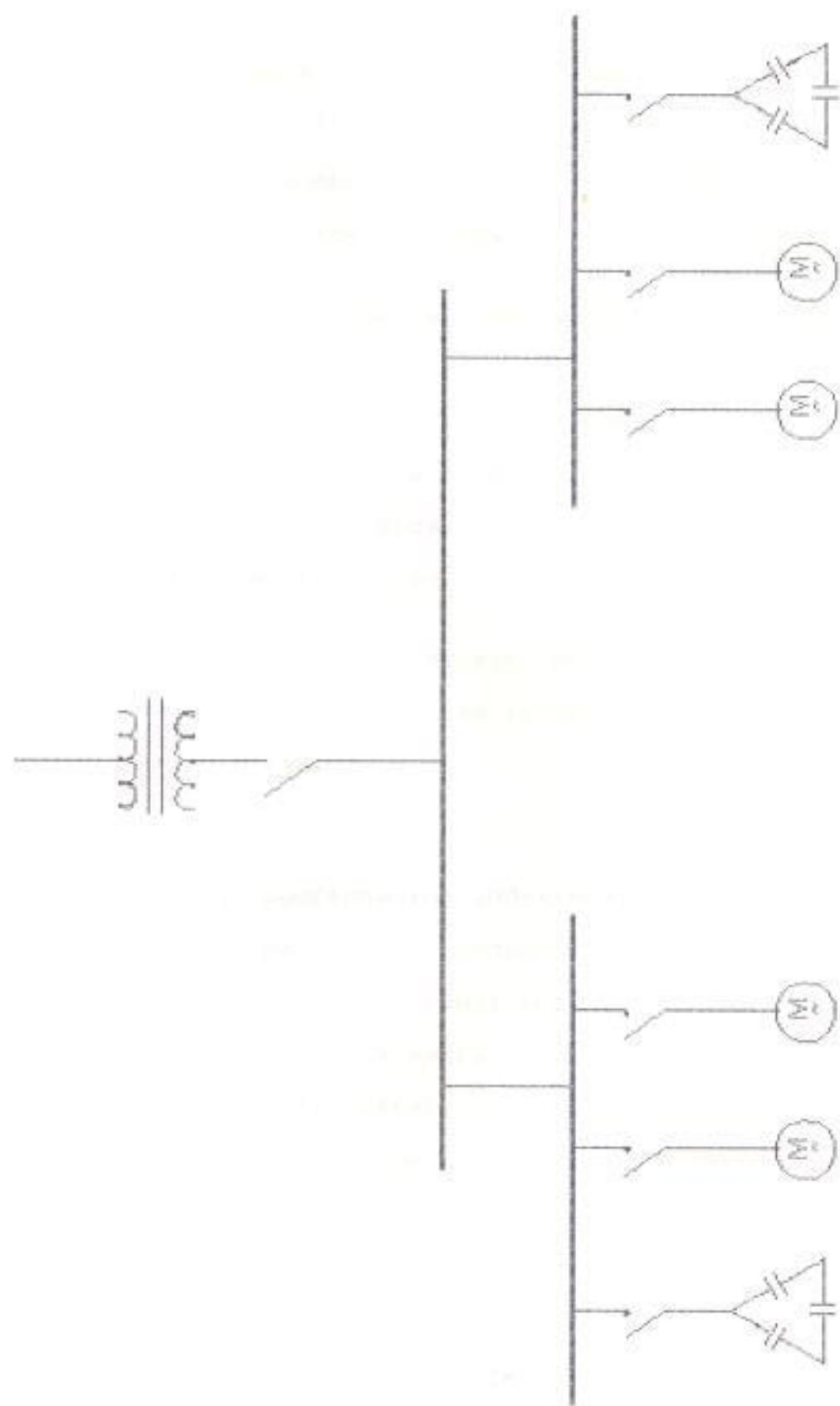


FIG. # 3.5 SISTEMA TIPICO COMPENSADO EN GRUPOS

Los grupos parciales a compensar serán: como grupo No. 1 los motores de los transportadores mas una bomba de agua de 10HP. y los otros grupos serán los tres molinos (200, 60 y 60HP.).

A diferencia del sistema global, esta forma parcial optimiza una parte de la instalación porque no se transporta corriente reactiva en los niveles anteriores a su punto de conexión, por lo tanto, las pérdidas por efecto Joule en los cables se disminuyen.

Cada grupo a compensar deberá tener su propio gabinete e instalarse lo más cercano a la carga respectiva.

3.4.1. Compensación individual?

Se hubiera podido efectuar una compensación individual en cada planta? Realmente, esta sería la solución ideal, es decir, instalar a cada receptor que consumiera energía reactiva (motores, luminarias, etc.) un condensador que se conectara y desconectara simultáneamente con el receptor y que compensare en todo momento la energía reactiva consumida. Pe-

ro esta solución resulta difícil llevarla a la práctica porque la energía reactiva que consume la carga, varía aunque poco, con el régimen de funcionamiento y porque no existen en el mercado los condensadores de las capacidades necesarias para cumplir estrictamente su misión de compensar exactamente la energía reactiva consumida; hay que ceñirse a la gama de capacidades nominales.

Por otro lado, el costo de instalación también sería muchos más elevado, sin embargo, cabe anotar que, en la planta No.2 realmente se ha realizado una compensación mixta: por grupo en el caso de los motores pequeños e individualmente en los tres motores de gran potencia.

IV. DISEÑO Y FABRICACION DE LOS TABLEROS DE CONDENSADO-

RES

4.1. DESCRIPCION DE ELEMENTOS PRINCIPALES QUE CONFOR-
MAN LOS TABLEROS: BASES PORTAFUSIBLES, FUSIBLES,
CONTACTORES Y CONDENSADORES.

Como ya se indicó para la protección contra cor-
tocircuitos se usarán fusibles. Estos serán del
tipo cuchilla, el cual está formado por una base
de polyester fibra de vidrio en una sola pieza y
las pinzas de contacto son de cobre plateado.

El fusible tiene cuerpo de cerámica, en su inte-
rior está lleno de arena aislante dentro del
cual está incluido el elemento conductor y fun-
dente. Sobresalen al cuerpo de porcelana 2 cu-
chillas de cobre de 100A. que son las que se co-
nectan a la base. Estos fusibles son para fun-
cionamiento de régimen de hasta 500V., con un
poder de corte de 100KA., para una temperatura
ambiental de 60 C. a nivel del mar. La curva
característica de funcionamiento será del tipo
A.M. (acompañamiento motor) que presentan curvas
de fusión lentas y soportan puntas de corrientes
sin fundirse.

Para la maniobra de condensadores en baja tensión se utilizan contactores. Normalmente todos los fabricantes de contactores dan las correspondientes tablas de utilización de sus equipos. Para nuestro caso utilizaremos contactores que como características generales tienen un voltaje de utilización de 660V. con 30 maniobras/horas. Serán escogidos según la categoría de empleo y la potencia a maniobrar. Además se tomará en cuenta el tipo de instalación a efectuarse; Para este caso será en tableros metálicos.

Los condensadores que se utilizarán serán del tipo seco, es decir, sin aceite aislante, en lugar del cual tienen como elementos dieléctrico el polipropileno metálico, con el cual se tiene la ventaja de poder disminuir el volumen y peso de los condensadores, además de reducir las pérdidas en el interior del condensador autoregenerativo. Esto significa que: cuando se produce un cortocircuito, se quema una capa de aluminio que está sobre el polipropileno, lo cual crea un óxido de aluminio (sustancia altamente aislante) forzando de esta manera que el condensador condensador continúe operando indefinidamente.

Vienen en armazones metálicos, en el que interiormente se han conectado resistencias para la descarga a 50 Volt. en menos de 1 minuto, después de la desconexión.

La caja metálica es totalmente cerrada por soldadura, protegidas con capa fosfatizada. Todos los condensadores están conectados en triángulo y las bobinas tienen una pérdida de 0.5-1 WATT/KVAR.

4.2. DESCRIPCION DEL RELE REGULADOR DE POTENCIA REACTIVA A EMPLEARSE.

En la batería automática para la planta No. 1 se tienen que utilizar un relé de regulación de potencia reactiva, que lo haga de manera automática. Se usará el relé BELUK, tipo BLR-MC., que tiene las siguientes características.

4.2.1. MODO DE OPERACION

El BLR-MC ha incorporado en su sistema un microprocesador. El circuito electrónico tiene un sistema de medición de las señales de voltaje y corriente del sistema, mediante los cuales sensa y compara la medida de potencia reactiva instantánea.

La introducción del microprocesador brinda ventajas adicionales como las lecturas digitales, del factor de potencia y del número de etapas ó 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. En la tabla VI, se muestran los diferentes programas seleccionables que se pueden ejecutar en el relé de 6 salidas que utilizaremos.

TABLA VI
POSIBILIDADES DE FUNCIONAMIENTO DEL RELE VARMETRICO

TIPO	DEP SWITCH					PROGRAMA	SECUENCIA DE CONEXION	NUMERO DE	
	1	2	3	4	5			CAPACITORES	ETAPA
MCD6	0	1	0	0	0	S6	1:1:....:1	6	6
MCD6	0	1	0	0	1	S611	1:2:....:2	6	11
MCD6	0	1	1	0	0	K6	1:1:....:1	6	6
MCD6	0	1	1	0	1	K611	1:2:....:2	6	11
MCD6	0	0	1	1	0	S415	1:2:4:8	4	15
MCD6	1	0	1	1	0	S515	1:2:4:4:4	5	15
MCD6	0	1	1	1	0	S619	1:2:4:...:4	6	19

También hay otras versiones que van desde los 3 hasta los 14 pasos, con sus correspondientes programas. Estos programas se los realiza por medio de pequeños interruptores que están en la parte superior del relé (DEP. SWITCH).

El programa "S" actúa secuencialmente sobre los capacitores, por ejemplo, empieza en 1 hasta llegar al 6 y desconecta desde el 6 hasta el 1 ó 0.

El programa "K" activa y desactiva siempre en la misma dirección de rotación, por Ej. conecta 1-2-3-4, desconecta 1-2-3; ahora conecta 5-6-1-2, desconecta 4-5-6-1-2, etc.

Este programa distribuye las horas de trabajo sobre todos los condensadores.

4.2.2. AJUSTE DEL COS. ϕ

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.

4.2.3. AJUSTE C/K.

El relé necesita un segundo ajuste, que es el de sensibilidad, para lo cual se necesita conocer el valor del primer es-
lón 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 da-

dos en una tabla que está adherida al relé.

Para otros voltajes el ajuste c/k puede ser calculado de la siguiente manera:

$$\frac{C}{K} = 0,66 \times \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times K} \quad (1)$$

donde

P_c = potencia del escalón en KVAR.

V = Voltaje del sistema en KV.

K = Relación de transformación del transformador de corriente.

El factor 0,66 ó 66% es fijado de tal manera que por ejemplo un capacitor de 10 KVAR. actuará únicamente cuando los requerimientos de potencia reactiva excedan los 6,6KVAR.

El rango puede ser variado entre 60 y 90% si es necesario.

4.2.4. INTERRUPCION DEL VOLTAJE

Si el suministro de poder es brevemente

interrumpido por mas de 35 m seg. el relé MC inmediatamente desconectará todos los condensadores. Cuando la energía es restablecida, el control procederá a trabajar después de 90 Seg.

Este retardo también se aplica para la operación inicial.

4.2.5. LECTURA DIGITAL DEL COS.ϵ

El relé BLR-MC posee un interruptor mediante el cual se puede seleccionar si se desea que en el display aparezca únicamente la lectura del cos.ϵ o que aparezca alternadamente el número de etapas trabajando (durante 5 Seg.) y la lectura del cos.ϵ (durante 20 Seg.)

4.2.6. SELECTOR MANUAL AUTOMATICO /0/+/-

Tiene incorporado un selector rotativo mediante el cual se puede operar de las siguientes formas:

AUT = El relé opera automáticamente.

0 = Todas las etapas en funcionamiento son sacadas del servicio.

- + = Los condensadores son conectados según el programa seleccionado.
- = Los condensadores son sacados del servicio, según el programa seleccionado.

4.2.7. AJUSTE DE TIEMPO Y SEÑAL DE INSUFICIENCIA.

Este ajuste de 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 debe 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.φ.

Esta señalización puede ser desactivada si no es requerida.

4.3. CALCULO DE LAS PROTECCIONES GENERAL Y POR ESCALON. ELECCION DE LOS APARATOS DE MANIOBRA PARA EL AUTOMATISMO. CALCULO DE INDUCTANCIAS DE CHOQUE.

Para el caso de la planta No. 1, se escogió una compensación centralizada automática, la cual estará conformada por 6 etapas que sumarán en total 165KVAR. Para conformar esta batería según los valores normalizados de KVAR existentes, hacemos la siguiente combinación: 4 etapas de 30KVAR. mas 2 de 22,5KVAR.

En el momento de la conexión, los condensadores demandan una corriente de cresta la cual no debe hacer accionar al fusible y para que esto no ocurra, comúnmente se toma como protección un fusible con un valor de 1,7 In.

Cada etapa debe tener su protección contra cortocircuito que ahora se calcula;

Los condensadores de 30KVAR. tienen una corriente nominal de 39.5 Amp.

De manera que:

$$I \text{ Fusible} = 1,7 \times 39,5 \text{ Amp.} = 67,15 \text{ Amp.}$$

el tamaño inmediatamente superior es el de 80A., que será el escogido.

Para los condensadores de 22.5KVAR. que tienen una corriente de placa de 29,5 Amp., se tiene:

$$I_{\text{Fusible}} = 1,7 \times 29,50 = 50,15 \text{ Amp.}$$

en este caso se escoge el fusible de 50 Amp.

Para escoger la protección general, se hace el siguiente cálculo:

$$I = I_n + (I_{\text{fusible}}) \text{ mas grande.}$$

$$I = 4 \times 39,5 + 2 \times 29,5 + 80 = 297 \text{ Amp.}$$

Por lo tanto se escoge como fusibles principales, 3 de 315 Amp.

Los contactores a ser utilizados serán de la marca SPRECHER + SCHUH, cuyos fabricantes recomiendan para esta aplicación de condensadores incorporados en gabinete, los siguientes elementos: Para el de 30KVAR. el contactor tipo CA3-60 que pueden maniobrar hasta 38KVAR. Este mismo contactor sirve para los de 22,5KVAR., ya que el inmediato inferior solo soporta hasta 22KVAR.

Para el caso de la planta No. 2, se tiene lo siguiente:

En la etapa de 40KVAR. que será conformada por dos condensadores en paralelo: uno de 30 mas uno de 10KVAR. (la I_n del condensador de 10KVAR. es 13,2 Am), la protección será:

$$I \text{ fusible} = 1,7 \times (39,5 + 13,2) = 89,59 \text{ Amp.}$$

Se pondrán fusibles de 100 Amp.

En las 3 etapas de 15KVAR., cuya corriente de placa es 19,7 Amp., la protección será:

$$I \text{ fusibles} = 1,7 \times 19,70 = 33,49 \text{ Amp.}$$

por lo tanto, se pondrán fusibles de 40 Amp.

En cuanto a los contactores, se escogerá el tipo CA1-60 que puede maniobrar hasta 63KVAR. para el escalón de 40KVAR. y para los otros escalones se escogerá el CA3-23 que puede conducir hasta 15KVAR. a 440V.

4.3.1. Cálculo de 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:

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

En un enésimo escalón

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

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 uh.

Esta I_c puede alcanzar en las baterías automáticas un valor igual a 200 veces la corriente nominal del escalón conectado.

Por eso deberá ser limitada a 100 In 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 In.

De manera que para preservar la duración de vida de los contactores y de los condensadores hay que limitar la I_c , mediante la inductancia de choque formada con un cable que una la base fusible con las barras del equipo (en batería automática) ó a la red (batería unitaria). (fig. No. 4.1.)

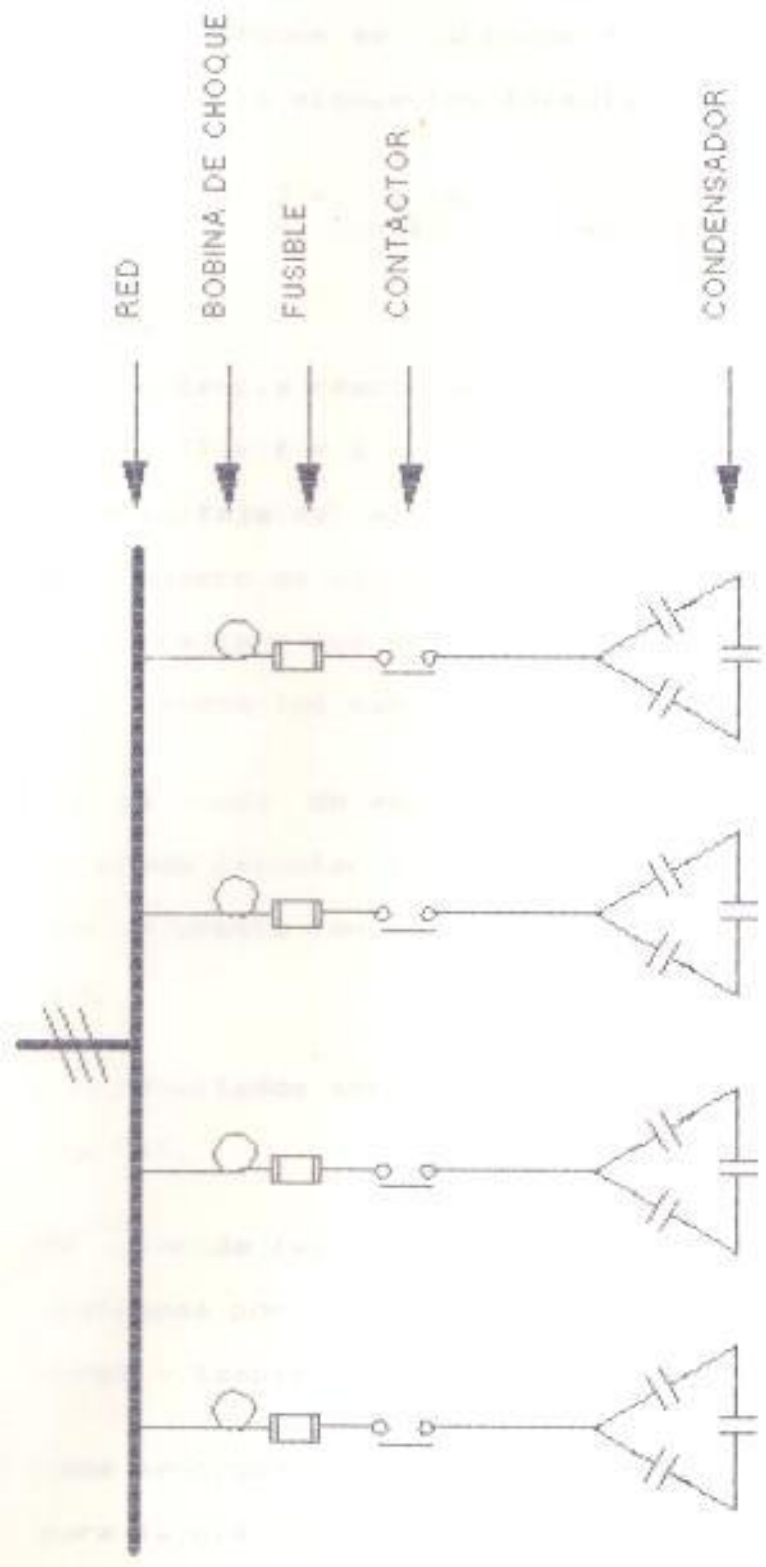


FIG. # 4.1 BATERIA CON PROTECCION COMPLETA.

El valor de la inductancia L de cada bobina de choque se lo puede encontrar a partir de la siguientes fórmula.

$$L = \frac{3}{4} \times \left(\frac{n}{n+1} \right)^2 \times Q_c \times \frac{V^2}{\omega_o} \times K^2 \quad (4)$$

donde:

Q_c = potencia reactiva de cada paso.

$\omega_o = 2 \pi \times f = 2 \times \pi \times 60 = 377.$

V = Voltaje del sistema.

N = Número de etapas.

K = Factor que es generalmente 30 en todos los casos.

Con la ayuda de estas fórmulas (3) y (4) se puede calcular y comparar las corrientes de cresta con y sin la bobina de choque.

Los resultados serán resumidos en la tabla VII.

El valor de las capacitancias son suministradas por el fabricante de condensadores y también estarán en la tabla VII.

Cabe mencionar que si bien es cierto que para la planta No. 2 la batería no es au-

tomática, sin embargo, tendrá un sistema de conexión sucesiva de condensadores de forma semi-automática, que en lo que a esfuerzos eléctricos concierne es como si fuera automática, por tanto, también deben tener espiras de choque.

TABLA VII.

CORRIENTES DE CRESTAS CON Y SIN ESPIRAS DE CHOQUE

PLANTA No. 1

ESCALON	KVAR	C (uf)	L (uh)	I _c (A)	I _{c+L} (A)	(I _{c+L})%	CAB. (m.m)
1	30	411	4	3.882,91	1.941,45	49,99	25
2	22,5	308	9,38	4.470,08	1.459,53	32,65	10
3	30	411	9,11	5.824,37	1.929,69	33,13	25
4	22,5	308	13,65	5.378,14	1.455,67	27,06	10
5	30	411	11,11	6.471,52	1.941,55	30,00	25
6	30	411	11,75	6.656,42	1.941,87	29,17	25

PLANTA No. 2

1	15	206	8	2.748,97	971,90	35,35	10
2	15	206	14,22	3.665,29	971,98	26,18	10
3	15	206	18	4.123,45	971,90	23,57	10
4	40	548	7,68	7.173,76	2.588,60	36,08	25

En esta tabla se ha incluido una columna que indica en tanto por ciento, el porcentaje el cual se logra bajar la corriente de cresta con la ayuda de las espiras, lo cual demuestra la importancia de usarlas.

Sin embargo, no siempre es necesario hacer estos cálculos porque los fabricantes de condensadores dan varios criterios y tablas con las que rápidamente se puede diseñar una bobina de choque. Así tenemos que, una inductancia se puede realizar con un cable haciendo 1 espira de 14 cm. de diámetro con una $L = 0,90 \text{ m.}$ que será conectado entre la base portafusible y la barra de distribución. Para elegir el calibre del cable de la espira se da la fig. No. 4.2. en la que se escogerá la sección del conductor respectivo.

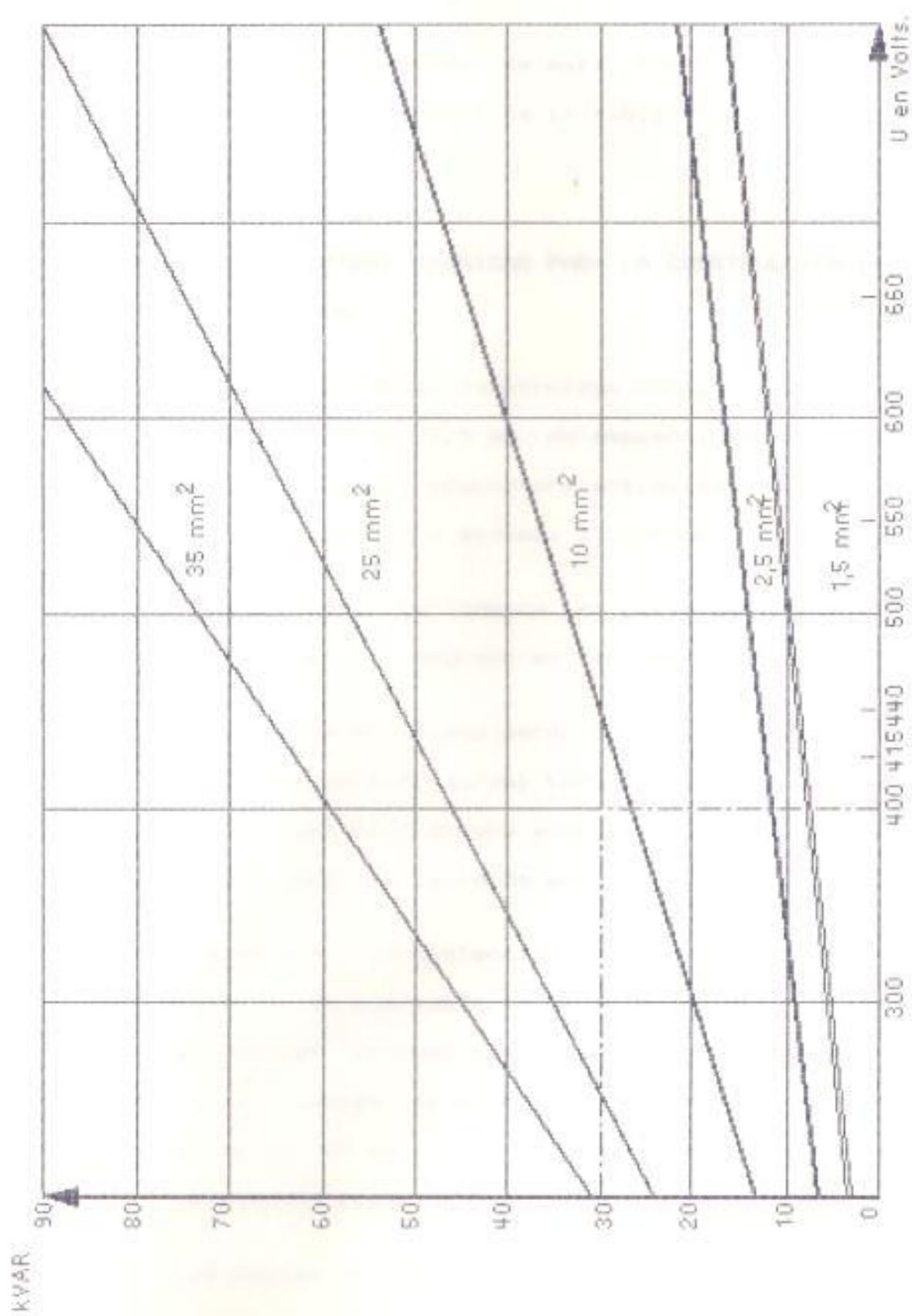


FIG. # 4.2 ELECCION DE CABLE A UTILIZAR CUANDO SE CONECTEN CONDENSADORES EN BATERIAS AUTOMA.

Con la ayuda de esta tabla se llena la columna cables de la tabla VII.

4.4. CONSIDERACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCION DE LOS TABLEROS.

Los tableros serán contruidos con plancha laminada al frío de 1,5 mm. de espesor, serán recubiertos con capa protectora antioxidante, pintados con esmaltes y secados al horno.

Tendrán protección contra el polvo mediante sello de goma de neopreno en las puertas.

Las puertas de acceso serán por el frente e irán montadas sobre bisagras; tendrán cierre tipo manubrio para el tablero autosoportado y del tipo moneda para los tableros murales.

Los valores de distancias de aislamiento en el interior de los tableros serán superiores a las distancias mínimas normalizadas. Se dispondrán los aisladores de manera que las barras disten entre sí 60 mm. como mínimo. Las distancias a masa serán superiores a 15 mm.

Las barras de distribución serán pulidas y pin-

tadas con los colores verde, amarillo y violeta de izquierda a derecha ó de adelante hacia atrás, asumiendo con esto que los tableros serán cableados con una secuencia positiva siendo R la fase pintada de verde, S la de amarillo y T la de violeta.

Los aisladores portabarras serán de porcelana, con aislamiento para 1KV. y podrán soportar una tensión mecánica de hasta 750 Kg.

Todos los pernos, tuercas, anillos, tornillos serán recubiertos con un baño electrolítico de zinc.

Para la planta No. 1 se construirá un solo tablero que por su peso y tamaño deberá ser auto-soportado contra el piso.

En el caso de la planta No. 2 se fabricarán cuatro tableros individuales que serán del tipo mural soportados contra la pared.

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. Todos tendrán una disposición vertical

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

Puesto que estos condensadores son del tipo seco pueden instalarse indistintamente verticales u horizontales. En nuestro caso irán verticalmente. Por recomendación del fabricante se debe dejar un espacio mínimo de 30 mm. 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 de 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.

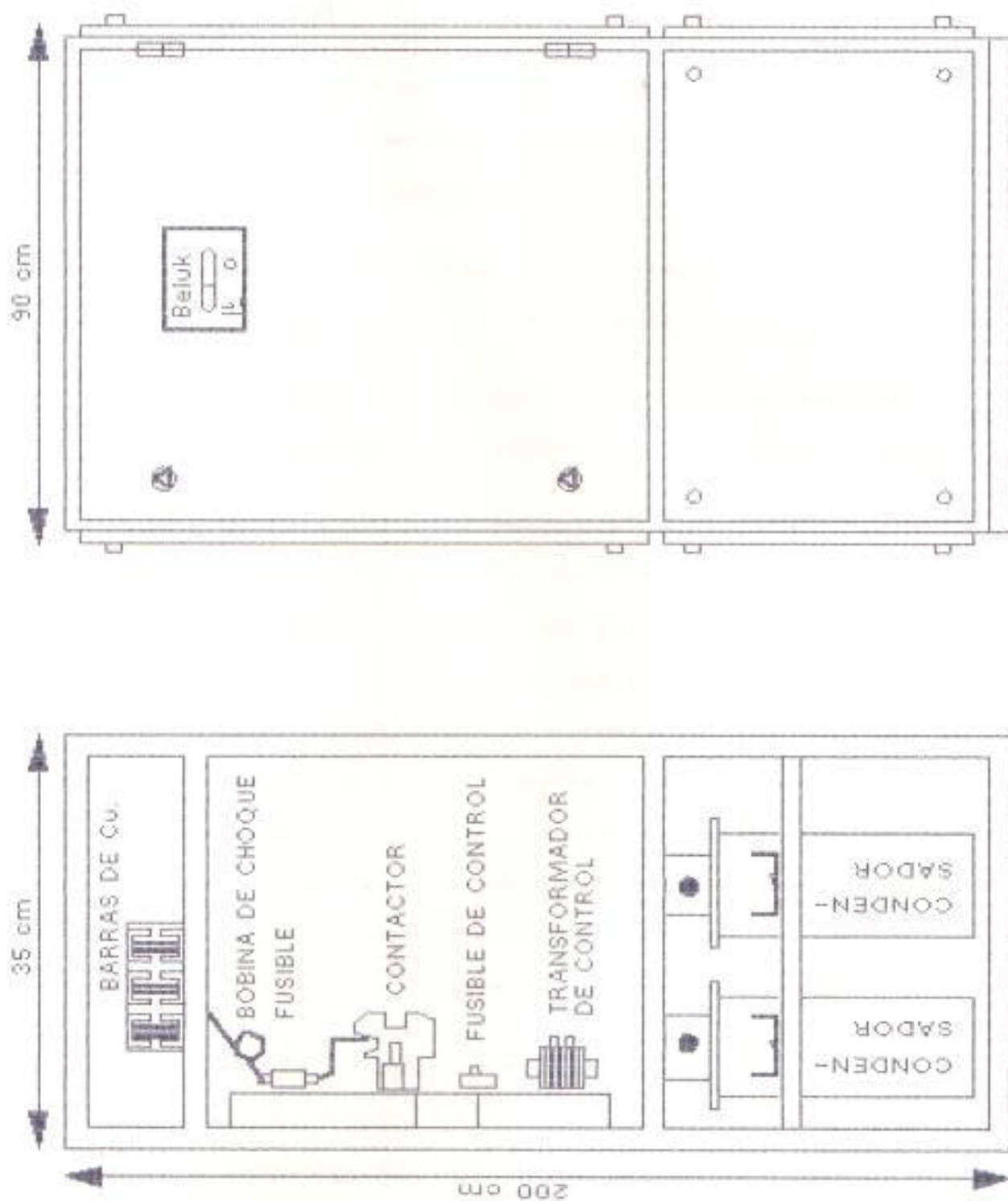


FIG. # 4.3 BATERIA ATOMÁTICA DE CONDENSADORES

4.5. DISEÑO, DIAGRAMAS UNIFILARES Y DE CONTROL DE LOS EQUIPOS.

La batería No. 1 que se muestra en la Fig. No. 4.3. será de una puerta, en la que irá montado el relé varmétrico.

Los condensadores irán montados en dos filas en la parte inferior del tablero.

En la primera fila irán tres y en el segundo las tres restantes. Quedan dos espacios para reserva en el futuro.

Se pondrán barras de distribución de cobre de 1" x 1/4" que tienen una capacidad para 350 Amp., puesto que se calcula que con todos los condensadores funcionando, circularán 217 Amp. mas lo que se deja para reserva. También hay que considerar que la barra pierde cierta área de conducción por los huecos que es necesario hacerle para conectar los terminales para los cables que conectarán a las etapas de condensadores.

Se utilizará un transformador de tensión para el sistema de control con relación 440/220V., el cual será de 250 V.A. ya que el consumo de cada bobina de los contactores es de 19 V.A. en cir-

cuito cerrado y de 155 V.A. para la atracción.

El cálculo para escoger el transformador se lo hizo considerando la mayor sollicitación que es cuando están conectados 5 contactores y va a entrar el sexto.

$$\text{V.A.} = 5 \times 19 + 155$$

$$\text{V.A.} = 250$$

Con todos los datos recopilados y calculados el diagrama unifilar de la batería No. 1 será la que se muestra en la fig. 4.4.

Para los tableros de la planta No. 2, también se puso un transformador para el circuito de control, 440/220V. Adicionalmente se acopló un relé auxiliar con bobina a 110V. porque el sistema de control de los motores desde donde se daría la señal es a 110V. El diagrama unifilar y de control del tablero para el molino No. 1 se da en la fig. No. 4.6.

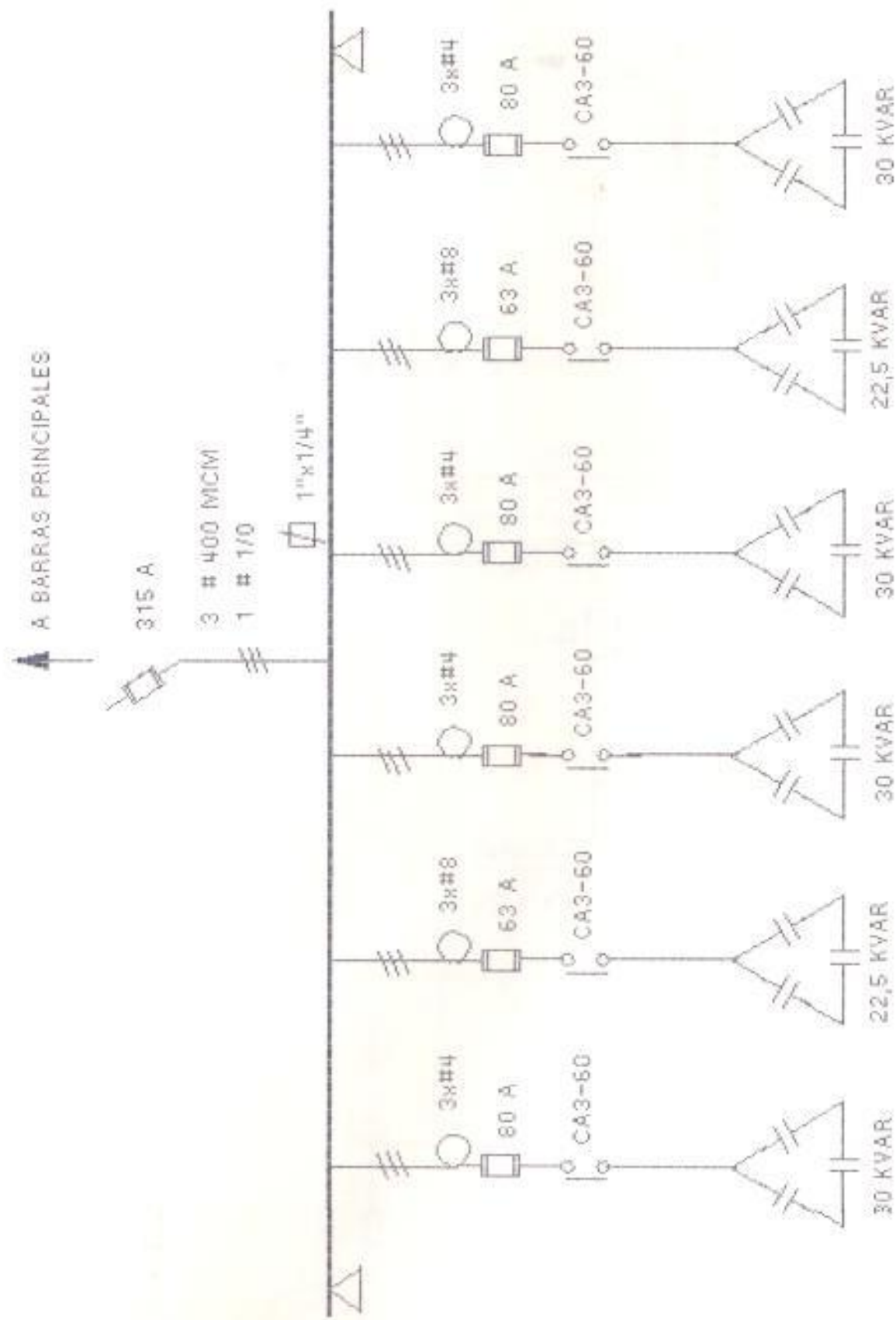


Fig. 4.4 Diagrama unifilar de la batería de condensadores #1.

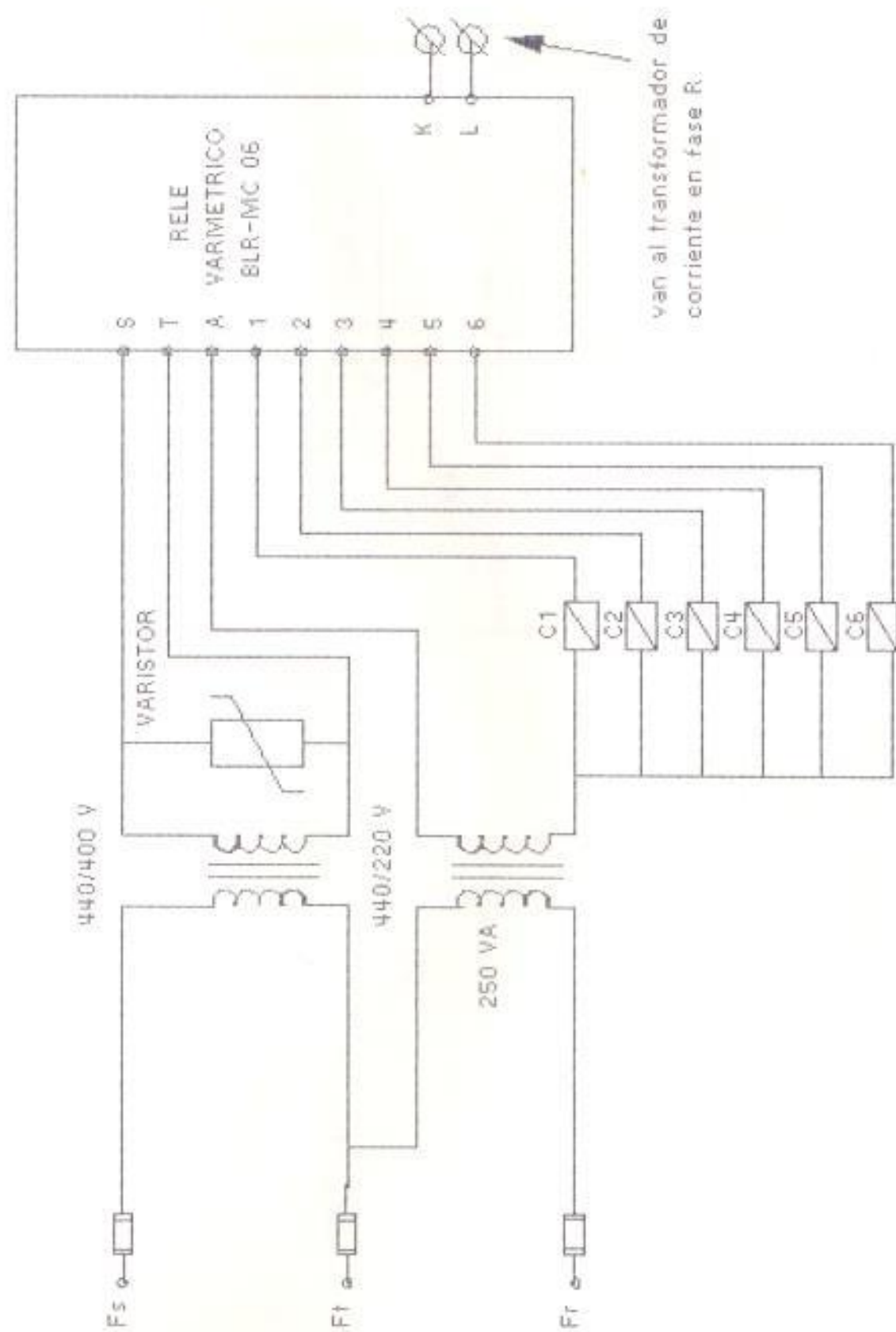


FIG. # 4.5 CIRCUITO DE CONTROL DE LA BATERIA AUTOMATICA DE CONDENSADORES # 1

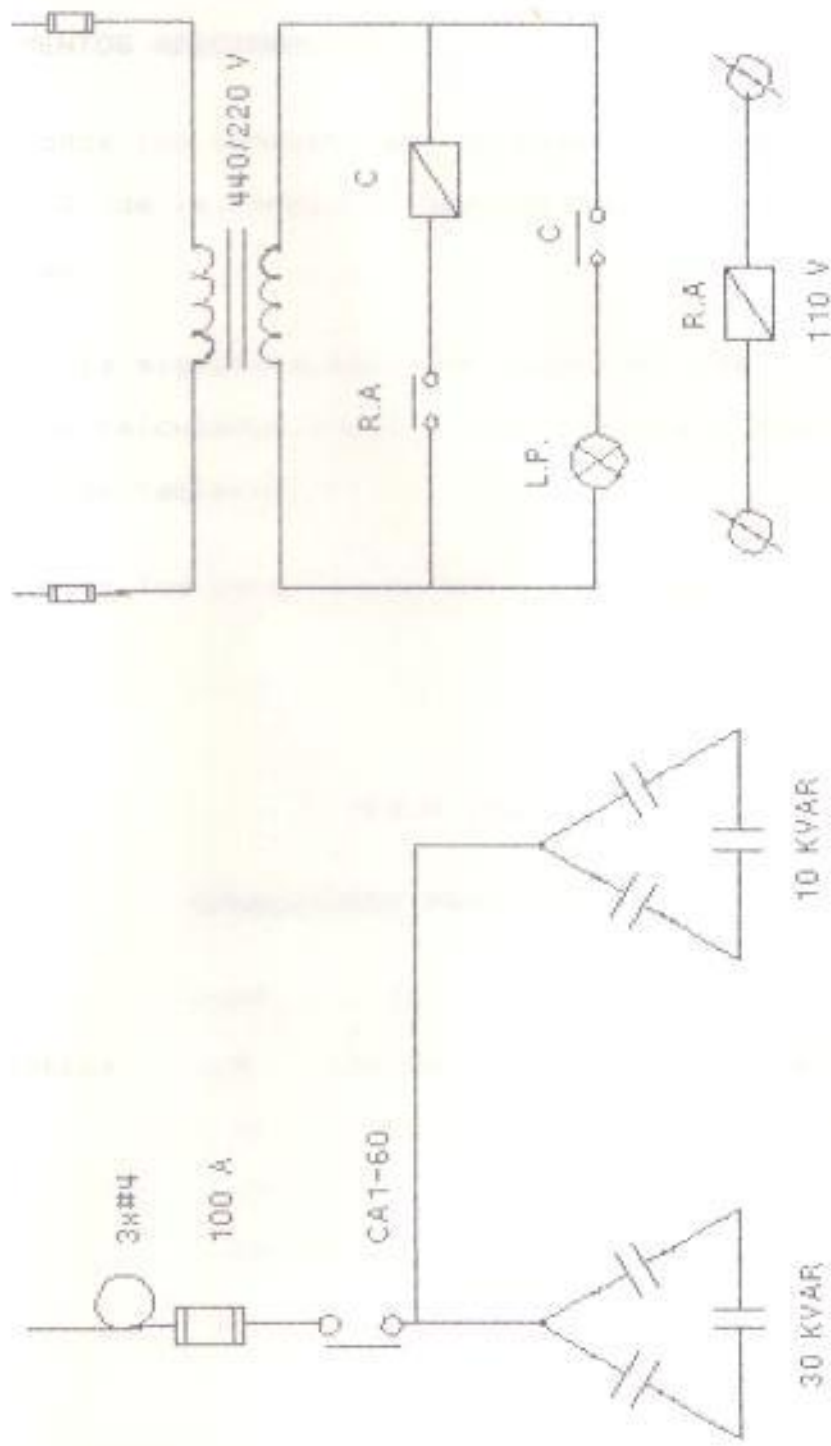


FIG. #4.6 DIAGRAMA UNIFILAR Y DE CONTROL DE UNO DE LOS TABLEROS PARA LA PLANTA #2

V. INSTALACION ELECTRICA DE LAS BATERIAS DE CONDENSADORES.

5.1. CALCULO DE LAS ALIMENTADORAS PRINCIPALES Y ELEMENTOS ADICIONALES.

Todos los conductores se deberán calcular para 1,3 de la corriente nominal de los condensadores.

En la siguiente tabla se muestran los conductores calculados y utilizados para la alimentación a los tableros.

Todos los conductores serán del tipo TW.

TABLA VIII

CONDUCTORES PARA TABLEROS

TABLERO	KVAR.	In	1,3 In	CONDUCTOR
Bat. automática	165	216,76	281,79	400MCM
Tab. 2.1.	40	52,54	68,31	4AWG.
Tab. 2.2.	15	19,70	25,61	10AWG.
Tab. 2.2.	15	19,70	25,61	10AWG.
Tab. 2.4.	15	19,70	25,61	10AWG.

Se desprecia la caída de tensión porque las distancias son relativamente cortas y más aún en el caso de la batería automática que irá junto al tablero de distribución principal correspondiente.

También será necesario dimensionar e instalar un transformador de corriente que enviara la señal de corriente al relé varmétrico.

Puesto que la potencia que se consume en la planta No. 1 es de 113,83KW, con un transformador con relación de transformación de 400/5AMP., 15V.A., 60HZ., 0,6/3KV, será suficiente. Es necesario también preveer que el transformador a utilizarse tenga una ventana para el paso del primario que sea lo suficientemente amplia para que los cables ó barras que la atraviesen lo hagan con facilidad y desde aquí se enviará la señal de corriente al relé varmétrico. Esto evitará atrasos y contratiempos.

5.2. CONSIDERACIONES PARA LA BATERIA No. 1 SECUENCIA DE FASES, POLARIDAD Y RELACION DE TRANSFORMACION DEL T. C. DE MEDICION.

Para la instalación de este tablero es necesario

que todos estos factores sean considerados con cuidado para el correcto funcionamiento de equipo.

Puesto que el tablero es cableado con una secuencia positiva y marcada según se indicó anteriormente con colores distintivos en las barras, entonces es necesario que antes de conectar la alimentación principal, se verifique con un secuencímetro cual es la secuencia del sistema y de acuerdo con esto ubicar las respectivas fases. Esta verificación inicial se tuvo que realizar en **Canteras Picoaza**.

Si no se toma en consideración esta condición entonces el equipo trabajará con una conexión equivocada y cuando se lo ponga a funcionar empezará a meter las etapas una tras otra sin ningún control y aparecerá una lectura falsa del factor de potencia, en el display del relé.

La ubicación correcta del transformador de corriente también es indispensable. Una vez determinada la secuencia con la cual se va a trabajar, entonces es necesario ubicar el transformador en la fase R. Si equivocadamente se lo ubica en alguna otra fase, el tablero trabajará

defectuosamente.

La relación de transformación de corriente (K), deberá ser de la relación apropiada según la carga, porque si es demasiado alta, la señal de corriente en el secundario será más pequeña lo que va a incidir en el funcionamiento del relé y por ende del equipo, porque la sensibilidad del relé se verá afectada al detectar valores muy bajos de corriente y no empezará a trabajar sino hasta que alcance el valor mínimo pre-ajustado, lo cual solo pudiera alcanzarse en momentos picos del consumo de la fábrica.

La polaridad con la que se conecta este transformador también debe tenerse en cuenta. Todo transformador de corriente tiene marcado por lo general las polaridades tanto en el primario como en el secundario. P1 para la entrada y K para la salida de corriente en el primario, S1 ó K para la entrada y S2 ó L para la salida de corriente, en el secundario. Siempre se deberán respetar estas indicaciones porque si una de ellas se invierte, entonces el relé varimétrico sensorá la señal de corriente con un ángulo de adelanto con respecto al voltaje (estado capaci-

tivo) sin que hubieran entrado ninguna de las etapas de la batería de condensadores y por lo tanto el equipo no trabajará, quedando el relé indicando el estado capacitivo mediante un LED y el display mostrando lecturas falsas del factor de potencia.

5.3. CONSIDERACIONES PARA LOS TABLEROS No. 2: PARA ACOPLAR A CARGAS INDIVIDUALES.

Los cuatro tableros No. 2, se conectarán en paralelo con las cargas respectivas.

Puesto que los molinos No. 2, 3, y el grupo de motores de baja potencia, arrancan de forma directa, la señal de mando se la toma desde cada arrancador respectivo. Por lo tanto cada condensador se conectará y desconectará simultáneamente con estos motores.

Sin embargo, el motor del molino No. 1, tiene un arranque a tensión reducida por medio de un autotransformador, entonces será necesario tener en cuenta el tomar la señal de mando para el contactor de los condensadores del contactor de línea del arrancador, es decir, del contactor

que culmina el arranque, para evitar de esta manera la posibilidad de que se produzcan sobretensiones de corta duración si se tomara la señal de uno de los dos primeros contactores que inician el arranque.

VI. PUESTA EN SERVICIO

6.1. VERIFICACION DE CONDICIONES DE 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 esté ubicado en la fase R, que la polaridad esté bien conectada.

El ajuste apropiado de las conexiones es fundamental porque en estos tableros se disipará 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 ésta en particular, las conexiones flojas llegarán 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 ambien-

tal es indispensable regularmente tener un programa de limpieza y mantenimiento 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.

6.2. VERIFICACION DE PARAMETROS ELECTRICOS ANTES Y DESPUES DE LA OPERACION 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. En este caso el voltaje es de 470 voltios, lo cual es solo el 6,8% superior a 440V. que es el nominal.

Tensiones mayores a ellas 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. Esta situación no se daba en **Canteras Picoaza.**

Después de poner a funcionar los equipos de compensación el voltaje subió de 470 a 473 voltios.

6.3. VERIFICACION DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y DESCARGA DE LOS CONDENSADORES CUANDO SE LES QUITA LA ENERGIA.

Para asegurar un período 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, éste 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 éstas. De todas maneras después de la puesta en servicio es necesario asegurarse de que estas resistencias están haciendo su trabajo por seguridad del personal de mantenimiento.

6.4. CALIBRACION DEL RELE VARMETRICO.

Este relé como se describió anteriormente tiene 2 ajustes que se le deberá realizar: el $\cos.\phi$ y la relación $\frac{c}{k}$.

El ajuste de $\cos.\phi$ normalmente se lo hace a 0.95 inductivo, esta calibración asegurará que

el factor de potencia siempre esté por arriba del 0.9 inductivo reglamentario.

El ajustarlo a este nivel también ayudará a compensar el consumo reactivo de los transformadores principales, puesto que la medición de EMEL-MANABI está realizada en alta tensión y sensorá también este consumo.

El otro ajuste necesario es la sensibilidad, a través del selector c/k , el cual como ya se indicó se lo calibra según la fórmula:

$$\frac{c}{k} = 0,66 \times \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times K}$$

donde:

$$P_c = 30\text{KVAR.}$$

$$V = 470\text{V} = 0,47\text{KV.}$$

$$k = 400/5 = 80$$

$$\text{Por lo tanto: } \frac{c}{k} = 0,46$$

Entonces, la sensibilidad será ajustada a 0,46 con lo cual se asegura que el relé empezará a trabajar sólo cuando la potencia reactiva consumida sea superior al 66% de 30KVAR, es decir, a 19,8KVAR.

6.5. VERIFICACION DE LA INFLUENCIA DE ARMONICOS EN LOS DIVERSOS ESCALONES.

Las baterías de condensadores están concebidas para funcionar en presencia de armónicos.

Las normas exigen, sin embargo, que un condensador no soporte más de 1,3 veces su corriente nominal de acuerdo a las normas europeas y 1.35 de acuerdo a las normas americanas. Por lo tanto una vez energizados los tableros es necesario medir con un amperímetro de pinzas las corrientes absorbidas por las diferentes etapas. En nuestro caso no hay presencia significativa de corrientes armónicas puesto que las lecturas de corrientes fueron muy cercanas a las nominales. Esto era de esperarse porque los equipos instalados en la fábrica no utilizan elementos electrónicos de potencia, que generan corrientes armónicas sobre la red. Sin embargo, hay algunos criterios a utilizar si en alguna oportunidad se tiene o se prevee este problema. Por ejemplo, si en un sistema a 240V:

- a) Hay rectificadores de potencia que en KVA, sea inferior a $P_{cc}/240$ (P_{cc} es potencia de cortocircuito), se puede utilizar condensado-

res normales.

- b) Si la potencia de los rectificadores en KVA. en un sistema a 240V., está entre $P_{cc}/240$ y $P_{cc}/120$, se deben utilizar condensadores a 440V. Sin embargo, esta solución es costosa porque la capacidad original de los KVAR tiene que multiplicarse por cuatro ya que la capacidad de los condensadores a 440V. aplicados en 220V se reducen según la siguiente expresión:

$$\frac{(\text{KVAR})}{\text{E.F.}} = \frac{V^2}{V_n^2} \times (\text{KVAR})_n$$

$$\frac{(\text{KVAR})}{\text{E.F.}} = \frac{(220)^2}{(440)^2} \times (\text{KVAR})_n$$

$$\frac{(\text{KVAR})}{\text{E.F.}} = 0,25 (\text{KVAR})_n$$

- c) Si la potencia de los rectificadores en KVA. es superior a $P_{cc}/120$, se deberán utilizar condensadores a 440V. en serie con inductancias antiarmónicos. Esta solución también resulta costosa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES *****

En cualquier sistema eléctrico que necesite elevar su factor de potencia, siempre se debería en primer lugar conocer la conformación del sistema, la forma de operación, horarios de trabajos, características de las máquinas principales y más datos previos necesarios.

Una compensación mediante condensadores puede hacerse de muchas maneras, pero los dos factores que principalmente determinarán la forma de hacerlo serán: que técnicamente sea operativo y que económicamente sea lo mejor posible. Habrán otros factores de tipo técnico que pudieron darle alguna variante adicional, como por ejemplo: el punto de conexión si se tienen líneas sobrecargadas, etc.

Condiciones para el funcionamiento correcto y duradero de estos equipos, debe ser otro factor a tener en cuenta. Así que el voltaje de operación no sea mayor a lo recomendado; la temperatura circundante e interior también será un factor esencial para su durabilidad y prever la presencia de corrientes armónicas.

Un mantenimiento y revisiones periódicas son también esenciales.

BIBLIOGRAFIA

1. RAMIREZ, J. El factor de potencia, Ceac, Barcelona - España, 1.985.
2. AGUT, J. El contactor y sus aplicaciones, Dossier Barcelona - España, 1.978.
3. MERLIN G. Guía de utilización e instalación de los condensadores, B. T., Letamendi, Barcelona - España, 1.986.