

UNIVERSIDAD DEL BÍO – BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

**“PARAMETRIZACIÓN DEL RELÉ SEPAM SERIE 80
PARA UNA APLICACIÓN DE PROTECCIÓN POR
SOBRECORRIENTE DE UN REGULADOR DE
ENERGÍA REACTIVA CONTROLADO CON
MICROPROCESADOR”**

AUTOR : FELIPE ANDRÉS DE J. BRAVO CASTRO.

**SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD**

**CONCEPCIÓN – CHILE
2010.**

UNIVERSIDAD DEL BÍO – BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**“PARAMETRIZACIÓN DEL RELÉ SEPAM SERIE 80
PARA UNA APLICACIÓN DE PROTECCIÓN POR
SOBRECORRIENTE DE UN REGULADOR DE
ENERGÍA REACTIVA CONTROLADO CON
MICROPROCESADOR”**

AUTOR:

- FELIPE ANDRES DE J. BRAVO CASTRO.

DOCENTES:

- DOCENTE PATROCINANTE: JOSÉ CORRALES PEÑA.
- DOCENTE CORRECTOR: LUIS MUÑOZ SÁEZ.

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD.

CONCEPCIÓN - CHILE

2010

INDICE

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
RESÚMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
1. BASE TEORICA.....	7
1.1. FACTOR DE POTENCIA.....	7
1.1.1. Diferencias entre $\cos \phi$ y factor de potencia.	8
1.1.2. Normativas referentes al factor de potencia.....	11
1.1.2.1. Norma técnica de calidad de servicio.....	11
1.1.2.2. Norma técnica de sistemas medianos.....	12
1.2. REGULACION DE TENSION	13
1.2.1. Normativas de la regulación de tensión	19
1.2.1.1. Norma técnica de calidad de servicio.....	19
1.2.2. Tipos de conexiones de banco de condensadores.....	20
1.3. PROTECCIÓN DE BANCO DE CONDENSADORES	24
1.3.1. Protección con relé.....	24
1.3.1.1. Consideraciones generales de los relés de desbalance.	25
1.3.1.2. Cálculo de sobretensiones.....	26
1.3.1.3. Protección por corriente de desbalance en el neutro (banco en estrella aterrizada).	28
1.3.1.4. Protección por medio de la suma de tensiones en el punto medio (neutro del banco del banco conectado a tierra).....	28
1.3.1.5. Protección diferencial de tensión (Neutro del banco conectado a tierra).	32
1.3.1.6. Protección por desbalance del arreglo de doble estrella.	33
1.3.1.7. Protección por tensión de desbalance en el neutro.	35
2. DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS.....	37
2.1. BANCO AUTORREGULADO MODELO PR-2D, SERIE MURAL. DNA ENERGÍA.....	37
2.1.1. Características generales de aplicación.....	39
2.1.2. Aplicación	40
2.1.3. Procedimiento.....	41
2.1.4. Puesta en marcha del regulador.	41
2.1.5. Menú de lecturas.....	44
2.1.6. Conexionado de la batería de condensadores autorregulada.....	45
2.2. PROTECCIÓN MULTIFUNCIONAL SEPAM SERIE 80	45
2.2.1. Descripción del relé SEPAM Serie 80.	47
2.2.2. Funciones de Automatismos.....	56
2.2.2.1. Principio de funcionamiento.....	57
2.2.2.2. Asignación de las entradas/salidas lógicas.	58
2.2.3. Editor de ecuaciones lógicas.....	59

2.2.4. Funciones Lógicas	60
2.2.4.1. Función AND “Y”	61
2.2.4.2. Función OR “O”	62
2.2.4.3. Función NOT	62
2.2.5. Aplicaciones de condensador.	64
2.2.5.1. Protección de una banco de condensadores.	64
2.2.5.2. Protección de una banco de condensadores de 1 a 4 pasos en Estrella Doble.	65
3. DESARROLLO DEL PROBLEMA PLANTEADO	68
3.1. ACONDICIONAMIENTO DEL MODULO DE APRENDIZAJE.	68
3.2. INTERFASE DE COMUNICACIÓN ENTRE REGULADOR DE POTENCIA Y SEPAM SERIE 80.	70
3.3. PARAMETRIZACION DEL EQUIPO SEPAM SERIE 80.	73
3.3.1. Pasos para la parametrización del SEPAM serie 80	73
3.3.2. Simulación de Fallas.	83
3.3.3. Osciloperturbografía	84
3.4. DISEÑO DE LAS EXPERIENCIAS DE LABORATORIO.	85
Experiencia No. 1 de laboratorio.....	86
Experiencia No. 2 de laboratorio.....	88
CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	90
BLIBIOGRAFIA	93
ANEXO 1	94
ANEXO 2	132
ANEXO 3	139
ANEXO 4	144
ANEXO 5	145
ANEXO 6	148
ANEXO 7	150
ANEXO 8	151
ANEXO 9	154
ANEXO 10	156

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El factor de potencia, es un parámetro representativo de un sistema eléctrico, el que debe ser monitoreado y controlado para dar una mejor calidad de servicio. Un bajo factor de potencia es sinónimo de un aumento en la potencia reactiva inductiva lo que provoca desventajas en los sistemas de generación, transmisión y distribución.

El empleo de un dispositivo para lograr controlar el factor de potencia es fundamental para evitar gastos innecesarios y ayudar a la calidad de servicio. En los laboratorios del DIEE de la Facultad de Ingeniería, se dispone de equipos para este propósito, pero éstos carecen de una protección por medio de relé de sobrecorriente.

Estos reguladores de potencia reactiva son controlados por un microprocesador. El microprocesador controla en forma dinámica el factor de potencia, pero no la magnitud de las corrientes que el regulador produce, las cuales son esencialmente variables.

Esto lleva a la necesidad de proteger el regulador para lograr un mejor funcionamiento y protección de éste. Esta protección se puede lograr mediante el relé digital SEPAM serie 80. Esta protección tiene facilidades que permiten una aplicación “inteligente” al conjunto.

OBJETIVOS GENERALES DEL SEMINARIO DE TITULACIÓN DE INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRICIDAD.

- Proteger en forma dinámica un regulador de potencia reactiva controlado por microprocesador, con el SEPAM serie 80.
- Diseñar una interface para conectar el regulador de potencia reactiva por microprocesador, con el relé digital modelo SEPAM serie 80.
- Realizar la parametrización necesaria del SEPAM serie 80 para lograr la protección del banco de condensadores.

RESÚMEN

El factor de potencia es un problema común en las industrias, ya que la mayoría de éstas, utilizan motores para sus procesos, por lo tanto la utilización de un Regulador de Potencia Reactiva controlado, es conveniente para evitar tener un bajo factor de potencia cuando la demanda de potencia es variable, con ello se evitan multas por parte de la compañía eléctrica que suministra la energía.

Este proyecto consta de 3 capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I: Tiene como objetivo conocer en forma teórica lo expuesto en los capítulos II y III, para así entender de donde vienen ciertos conceptos y formas de utilización de elementos y dispositivos.

Capítulo II: El objetivo principal de este capítulo, es conocer los dispositivos a utilizar en este proyecto, sus características técnicas y métodos de utilización de los mismos.

Capítulo III: Este capítulo tiene como objetivo, exponer la forma de cómo se enfrentó el problema dispuesto, lo necesario para poder solucionarlo y la solución del mismo, diseñando experiencias de aprendizaje para los alumnos que utilicen este módulo.

INTRODUCCIÓN

En estos últimos años la calidad¹ de servicio eléctrico² se ha convertido en un tema de gran importancia en nuestro país y en el mundo, tanto para empresas proveedoras de energía eléctrica, como para los consumidores o usuarios finales.

La razón principal por lo que el “concepto” calidad de servicio eléctrico es de gran importancia, son las cargas adyacentes a las cargas que provocan una mala calidad de energía eléctrica (bajo factor de potencia), ya que cada día estas cargas vecinas son más sensibles a las variaciones de ciertos parámetros. Hoy se encuentran cargas industriales, comerciales y residenciales que hacen uso intensivo de controles basados en microprocesadores.

En las industrias se está haciendo masiva la utilización de la llamada electrónica de potencia, que generalmente es usada para el control de motores y que está sustituyendo el control electromagnético, y por lo tanto son más sensibles a muchos tipos de disturbios, también se ha incrementado el concepto de eficiencia³ en los sistemas eléctricos por lo que se ha obtenido como resultado un incremento en el uso de dispositivos de alta eficiencia como: controladores de velocidad en motores eléctricos, uso de condensadores en paralelo para la corrección del factor de potencia y la reducción de pérdidas; esto trae como consecuencia el incremento de los niveles de armónicos en la red, tema que ha preocupado bastante debido al impacto que actualmente tienen y por las condiciones futuras que se pueden presentar.

¹ La norma NCh 2000/1, define **calidad** como el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, que le confiere la aptitud para satisfacer necesidades expresas o implícitas.

² De acuerdo al artículo 222º del D.S. N°327/97, Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos, del Ministerio de Minería, la **calidad de servicio** es el conjunto de propiedades y estándares normales que, conforme a la ley y el reglamento, son inherentes a la actividad de distribución de electricidad concesionada, y constituyen las condiciones bajo las cuales dicha actividad debe desarrollarse.

³ Uso optimizado de la energía eléctrica.

Debido a que el factor de potencia es un índice de calidad de servicio, debe ser corregido en el caso que se encuentre fuera de norma, esto es posible por medio de la aplicación de condensadores, lo que trae ventajas importantes desde el punto de vista de la calidad del suministro⁴ y del dimensionamiento de equipos eléctricos, debido a que las pérdidas en las líneas se minimizan y se aprovecha al máximo la potencia suministrada, se corrige el factor de potencia y se mejora la regulación de tensión. Los condensadores se pueden localizar en las instalaciones de la compañía suministradora (redes de distribución y eventualmente en los sistemas de transmisión), o bien, en las instalaciones de los usuarios, estos pueden ocasionar algunos problemas, como transitorios de tensión por desconexión y transitorios de corrientes por conexión, también se puede presentar el fenómeno de resonancia en paralelo.

Los condensadores o bancos de condensadores son utilizados para realizar compensaciones de potencia reactiva, las cuales pueden ser de forma fija o automática. La compensación fija se utiliza cuando se necesita compensar una instalación en donde la demanda de reactivos sea constante; la compensación automática, se utiliza cuando la demanda de reactivos es variable, por lo tanto es necesario que se realice por medio de un dispositivo controlador que sea capaz de controlar la conexión y desconexión de los condensadores.

Una de estos dispositivos es el “Regulador de Potencia Reactiva con microprocesador” (PR-2D). Un equipo de este tipo requiere de un sistema de protección por sobre corriente adaptativo a la potencia suministrada, conectado de tal manera que pueda interactuar con el Regulador de Potencia Reactiva, y así actuar ante cualquier falla y anomalía que se encuentre en el sistema de regulación.

⁴ De acuerdo al artículo 223º del D.S. N°327/97, la **calidad del suministro** es el conjunto de parámetros físicos y técnicos que, conforme al reglamento y las normas técnicas pertinentes, debe cumplir el producto electricidad. Dichos parámetros son, entre otros, tensión, frecuencia y disponibilidad.

CAPITULO I

BASE TEORICA

1. BASE TEORICA

1.1. FACTOR DE POTENCIA

Definición:

El factor de potencia se define como el cociente de la relación entre la potencia *activa* (P) y la potencia *aparente* (S), o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de tensión e intensidad de corriente $\cos \varphi$ (cabe destacar que esta igualdad entre el factor de potencia y $\cos \varphi$, se cumple siempre y cuando la onda sea netamente senoidal), entendiéndose por φ el ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad de corriente ($\varphi_V - \varphi_I$).

El factor de potencia es un índice de calidad de energía por lo tanto en algunos textos se puede encontrar representado como un valor porcentual y no como valor en por unidad (este último es lo más usual).

Tabla 1.1 Representación de las potencias de un sistema eléctrico.

	Representación	
Potencia	<i>monofásica</i>	<i>trifásica</i>
<i>Activa</i>	$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$	$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$
<i>Reactiva</i>	$Q = V \cdot I \cdot \sin \varphi$	$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi$
<i>Aparente</i>	$S = V \cdot I^*$	$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I^*$
	$S^2 = P^2 + Q^2$	

De la definición del factor de potencia se obtiene:

$$fp = \frac{P}{S} \quad [1.1]$$

Donde:

P = Potencia activa (W)

S = Potencia aparente (VA)

En donde: $P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$ (W)

$S = V \cdot I$ (VA)

De lo anterior se obtiene: $\frac{P}{S} = \frac{V \cdot I \cdot \cos\varphi}{V \cdot I}$

Y se puede deducir que:

$$fp = \cos\varphi \quad [1.2]$$

Como se comentó anteriormente esta igualdad se cumple cuando la onda del sistema eléctrico de corriente alterna es senoidal pura.

1.1.1. Diferencias entre $\cos \Phi$ y factor de potencia.

El $\cos \varphi$, no es más que el coseno del ángulo φ que forman la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), en el triángulo de potencia tradicional. En un sistema eléctrico de corriente alterna con ondas senoidales perfectas, la descomposición de la potencia aparente

es la suma de dos vectores y esto da como resultado un triángulo rectángulo, en donde los componentes se encuentran en los ejes de los números reales y los imaginarios .

Si al triángulo rectángulo se le aplica el Teorema de Pitágoras, las relaciones trigonométricas que se obtienen son las siguientes:

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad [1.3]$$

Por lo tanto el $\cos \phi$ sólo depende de la Potencia Activa (P) y la Potencia Reactiva (Q).

El factor de potencia por otro lado, como se definió en un comienzo del capítulo es la relación entre las Potencias Activa (P) y Aparente (S). Si la onda de corriente alterna es perfectamente senoidal, el fp y el $\cos \phi$ son idénticos. De lo contrario si la onda no fuese perfectamente senoidal la Potencia Aparente no estaría compuesta de Potencia Activa y Reactiva, sino que aparecería una tercera componente suma de todas las potencias que generan la distorsión. Esta componente de distorsión se denomina “volt-amperes de distorsión” o bien D.

Suponiendo que en una instalación hay un Tasa de Distorsión Armónica (THD) considerable, debido a las corrientes armónicas presentes en la instalación. Estas corrientes armónicas junto con la tensión a la cual está sometido el conductor por el que fluyen, dan como resultado una potencia, que si fuese esta la única distorsión en la instalación, su valor coincidiría con el total de las distorsiones D. En el Anexo 1 sección 3 subsección 3.3 incluido en esta memoria se encuentra lo referente al factor de potencia con armónico con más detalle.

En la siguiente figura se puede apreciar el cambio que se produce con el Triángulo de potencias:

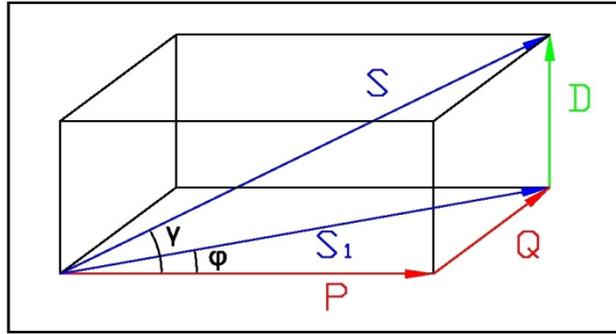


Fig. 1.1 Prisma de potencia.

Al visualizar la figura anterior, cabe destacar que en la parte inferior del prisma vemos el triángulo rectángulo, pero la hipotenusa ya no es S, sino S₁, ya que S debe tomar en cuenta D en su composición.

Al ver el prisma completo se pueden apreciar dos ángulos ϕ , γ : ahora el ángulo importante dejó de ser ϕ ya que no considera a D, por tanto el ángulo con más relevancia es γ .

Por lo tanto siguiendo con la definición de factor de potencia obtenemos la siguiente expresión para este:

$$fp = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2+D^2}} \quad [1.4]$$

Por lo tanto las diferencias principales entre el $\cos \phi$ y el factor de potencia son: el $\cos \phi$ depende de las Potencias Activa (P) y Reactiva (Q), no así el factor de potencia que depende de las Potencias Activa (P), Reactiva (Q) y de los volt-amperes de distorsión (D). En el caso de que la corriente sea puramente senoidal y no hay distorsión armónica (D=0), ambos coincidirán.

1.1.2. Normativas referentes al factor de potencia.

En Chile hay normas técnicas que regulan el factor de potencia; una de las instituciones encargadas de establecerlas es la Comisión Nacional de Energía (CNE), la cual se basa en decretos supremos para sus artículos.

Se ha realizado una recopilación de normas técnicas que sus artículos hacen referencia al factor de potencia entre ellas se tiene:

1.1.2.1. Norma técnica de calidad de servicio.

a) Factor de potencia

Artículo 250° DS N°327/97

“Esta norma determinara los rangos aceptables del factor de potencia de la potencia efectiva transferida en los puntos de entrega, considerando el nivel de tensión, la demanda del sistema y otros parámetros que sean relevantes. El factor de potencia para los clientes a quienes les sean aplicables los precios de distribución, será el señalado en el artículo 294 del DS N° 3287/97”.

b) Ventas a clientes finales de potencia conectada inferior a 2000 Kw En sistemas de mas de 1500 Kw.

Artículo 294

“Los precios a nivel de distribución se determinan sobre la base del precio de nudo establecido en el punto de conexión con las instalaciones de distribución del concesionario, y de un valor agregado por concepto de distribución.

El valor agregado por concepto de costos de distribución se basara en empresas modelo y considerara:

1°.- Costos fijos por concepto de gastos de administración, facturación y atención del usuario, independientes de su consumo.

2°.- Perdidas medias de distribución en potencia y energía

3°.- Costos estándares de inversión, mantenimiento y operación asociados a la distribución, por unidad de potencia suministrada. Los costos anuales de inversión se calcularán considerando el VNR (Valor Nuevo de Reemplazo) de instalaciones adaptadas a la demanda. Su vida útil, y una tasa de actualización igual al 10% real anual.

Las pérdidas medias y los costos estándares de inversión, mantenimiento y operación, se calcularán suponiendo que todos los usuarios tienen factor de potencia igual a noventa y tres por ciento inductivo (93%).

Los valores agregados de distribución deberán calcularse para satisfacer la calidad de servicio que establece este reglamento”.

1.1.2.2. Norma técnica de sistemas medianos

a) Instalaciones de clientes.

Artículo 3-16

“Los motores eléctricos de las instalaciones de clientes, cuyas potencias sean superiores a 60 kVA con sus correspondientes equipos mecánicos asociados deberán cumplir con lo siguiente:

1°.- La corriente de partida no deberá superar en 1.5 veces la corriente nominal del motor.

2°.- El tiempo en que la corriente de partida exceda la corriente nominal, no deberá ser superior a 5 segundos.

3°.- Durante la etapa de arranque el factor de potencia no deberá ser inferior a 0.75 en ningún momento”.

b) Estándares para instalaciones de clientes.

Artículo 5-28

“Las instalaciones de clientes deberán contar con el equipamiento necesario que permita el control de tensión y el suministro de potencia reactiva, debiendo tener en sus puntos de conexión a las instalaciones de generación y/o transmisión, un factor de potencia medido en intervalos de 60 minutos,

en cualquier condición de carga, comprendido entre 0.93 inductivo y 0.98 capacitivo. Lo anterior, sin perjuicio de lo dispuesto en el Artículo 3-16 de la presente Norma Técnica”.

1.2. REGULACION DE TENSION

La regulación de tensión consiste en evitar las variaciones de tensión que se detectan en puntos receptores de un sistema de transmisión o distribución de energía.

El problema de regulación de tensión es un problema que depende del tipo de red ya sea de una red de transmisión o distribución.

En las redes de distribución lo más importante es mantener un nivel de tensión constante, ya que si la tensión es demasiada alta se originan problemas como la disminución de la vida útil de artefactos eléctricos, provocando en algunos casos daños irreparables.

En redes de transmisión se acepta una variación considerable ($\pm 7,5\%$ del valor nominal, según norma técnica de calidad de servicio Artículo 243° DS N° 327/97 de la página 20), ya que no existen aparatos de utilización directa conectados a ella, teniendo en cuenta que una tensión muy elevada puede dañar el aislamiento de los equipos o saturar los transformadores.

Actualmente la solución a este problema se hace más complicada debido al gran desarrollo de las redes de distribución de energía y la complejidad de éstas.

Por lo tanto es más conveniente regular el nivel de tensión localmente, en los diversos centros de consumo.

Para ello se dispone de diferentes métodos:

- Conexión de potencia reactiva capacitiva.
- Modificación de la reactancia.
- Regulación de voltaje adicional (variación de taps).

El método más sencillo de obtener la regulación por voltaje adicional, es variando la relación de vueltas entre el primario y secundario de un transformador o auto-transformador.

Para entender lo que ocurre con la tensión de recepción en un SEP, es necesario realizar un análisis fasorial teniendo una red eléctrica básica como ejemplo:

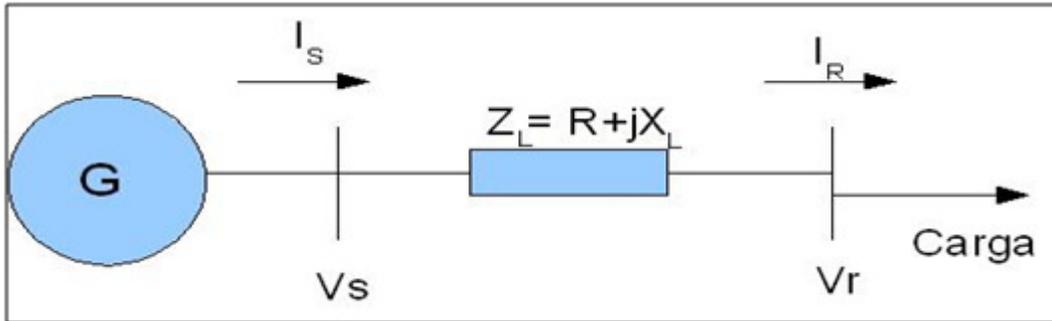


Fig. 1.2 Red eléctrica.

Es necesaria una demostración matemática para poder realizar los esquemas fasoriales de la red.

Realizando un análisis de malla a la red de la figura anterior se obtiene:

$$\vec{V}_S = \vec{V}_R + \vec{Z}_L \cdot \vec{I}_S \quad [1.5]$$

Luego

$$\vec{S}_S = \vec{V}_S \cdot \vec{I}_S^* [pu] \quad [1.6]$$

Suponiendo que:

$$Q_{perd} = P_{perd} \approx 0$$

Se tiene:

$$\vec{I}_S = \frac{\vec{V}_S - \vec{V}_R}{\vec{Z}_L} = \vec{I}_R \quad [1.7]$$

Utilizando la ecuación [1.6] se obtiene lo siguiente:

$$\vec{S}_S = \vec{V}_S \cdot \vec{I}_S^* = P + jQ \quad [1.8]$$

Despejando I^* de la ecuación anterior se tiene:

$$\vec{I}_S = \frac{P-jQ}{\vec{V}_S^*} \quad [1.9]$$

Ahora reemplazando la ecuación 16 en la ecuación [1.5], la primera ecuación queda de la siguiente manera:

$$\vec{V}_S = \vec{V}_R + \vec{Z}_L \cdot \frac{P-jQ}{\vec{V}_S^*} \quad [1.10]$$

Luego suponiendo que:

$$\vec{Z}_L \approx jX$$

Y despejando la tensión receptora la ecuación [1.10] queda como sigue a continuación:

$$\vec{V}_R = \vec{V}_S - jX \cdot \frac{P-jQ}{\vec{V}_S^*} \quad [1.11]$$

Si: $\vec{V}_S = V_S \angle 0^\circ$

La ecuación [1.11] queda representada como sigue:

$$\vec{V}_R = V_S - \frac{X \cdot Q}{V_S} - j \frac{X \cdot P}{V_S} \quad [1.12]$$

donde:

V_S = Tensión de suministro.

V_R = Tensión del receptor.

S_S = Potencia aparente suministrada.

Q = Potencia reactiva.

P = Potencia activa.

Z_L = Impedancia de la línea.

X_L = Reactancia de la línea.

Ahora la ecuación anterior puede ser representada mediante fasores como lo muestra la fig.1.3, en donde la tensión del receptor es un poco menor que la tensión de suministro debido a las pérdidas en la línea y la potencia reactiva requerida por la carga.

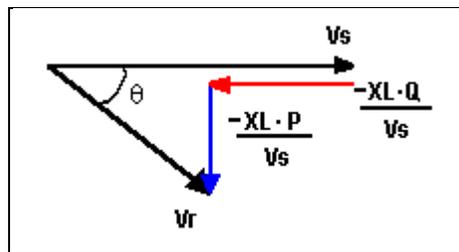


Fig. 1.3 Fasores representativos de la ec.[1.12].

Por lo tanto la figura anterior representa el funcionamiento de una red en condiciones normales de trabajo como muestra la fig. 1.4, en donde la carga no requiere de una excesiva potencia reactiva.

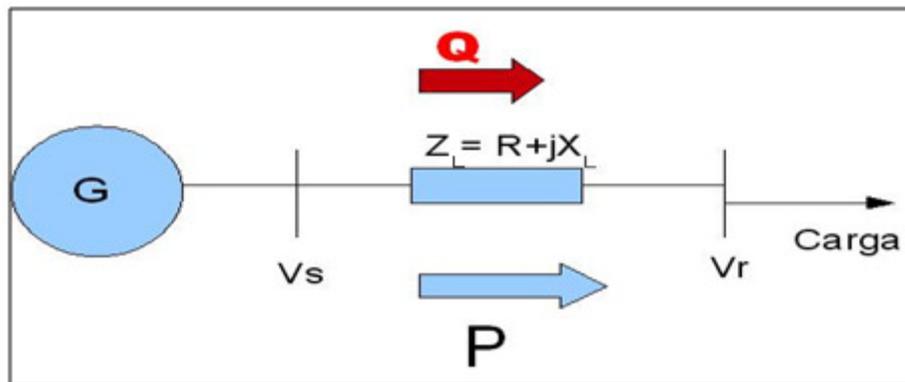


Fig. 1.4 Funcionamiento normal de una red.

Ahora lo que ocurre en la red cuando la potencia reactiva requerida por la carga disminuye queda representado en la fig. 1.5

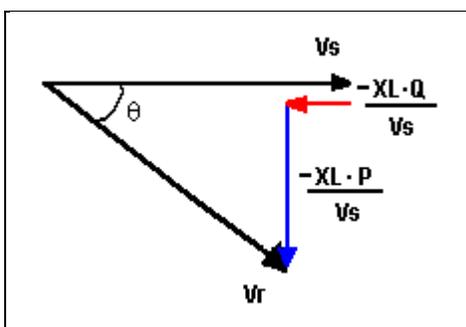


Fig. 1.5 Representación fasorial de la disminución de potencia reactiva.

Como se puede apreciar en la figura 1.5, al disminuir la potencia reactiva requerida por la carga la tensión receptora se acerca a la tensión suministrada, por lo tanto si la potencia reactiva requerida por la carga, fuera cero la tensión suministrada sería aproximadamente igual que la tensión receptora, se dice aproximada ya que siempre se encuentra alguna caída de tensión en la línea debido a la longitud o bien a las características de ésta.

Por lo tanto con esto se puede considerar que si la carga requiere demasiada potencia reactiva, la tensión receptora disminuye considerablemente, lo que puede estar fuera de norma y perjudicar el funcionamiento normal de la red.

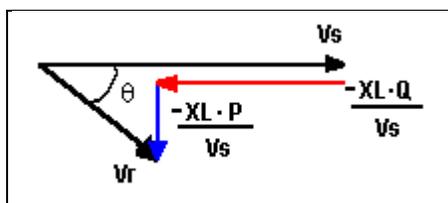


Fig. 1.6 Fasores cuando la carga requiere potencia reactiva.

Para mejorar la regulación de tensión, se pueden realizar varios métodos los cuales fueron mencionados anteriormente, en este caso se utiliza un banco de condensadores, el cual queda representado en la figura 1.7.

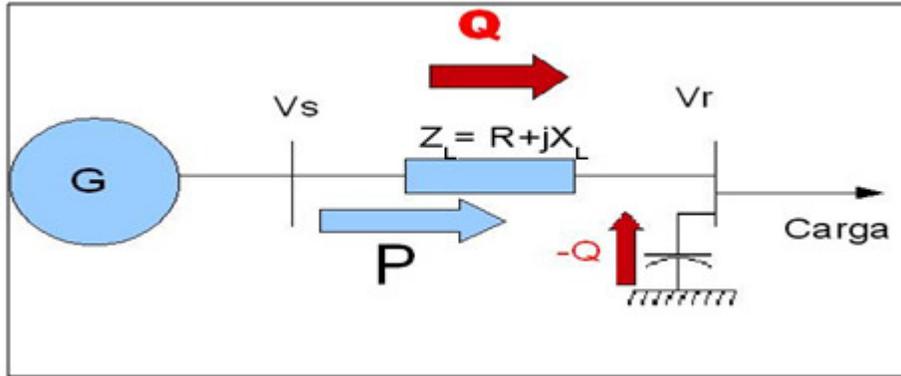


Fig. 1.7 Conexión de un banco de condensadores.

Al conectar un banco de condensadores, se contrarresta la potencia requerida por la carga, así cambiando el flujo de potencia de la línea y disminuyendo la potencia reactiva de ésta.

Al momento de realizar los cálculos para obtener la capacidad de este banco de condensadores se debe tener mucho cuidado de no exceder la capacidad requerida, ya que se puede producir una sobre compensación de potencia reactiva, lo que causa aumento de tensiones en el punto receptor o punto de compra, y esto puede provocar deterioro de los artefactos conectados en ese punto, ya que al producirse la sobre compensación, el flujo de la potencia reactiva toma dos sentidos, uno hacia la carga y otro hacia el suministro.

La figura anterior fasorialmente queda representado como sigue:

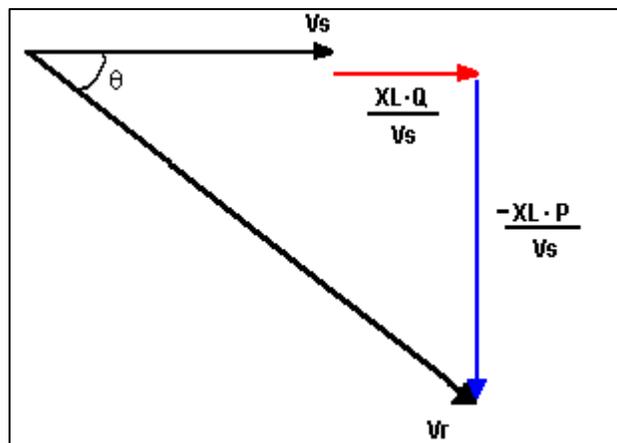


Fig. 1.8 Diagrama fasorial de sobrecompensación de energía reactiva.

Como se puede apreciar en la figura 1.8, la tensión en el punto receptor o punto de compra de energía es mayor a la suministrada, esto debido al sobre dimensionamiento de la capacidad del banco de condensadores, como se explicaba anteriormente.

La utilización de condensadores es muy favorable debido a que cubre varios puntos en la mejoría de la red, éstos son:

- Permite reducir al valor deseado la componente reactiva de la corriente de línea.
- Mejora la regulación de la línea
- Reduce las pérdidas en la línea
- Mejora el factor de potencia en los generadores
- Permite obtener mayor potencia activa de los generadores, transformadores y líneas.

1.2.1. Normativas de la regulación de tensión

Al igual que con el factor de potencia, existen normativas que se refieren a la regulación de tensión; la Comisión Nacional de Energía (CNE) también se encuentra a cargo de estas normas, las cuales deben ser cumplidas por las empresas suministradoras de energía, en este caso las multas van hacia las compañías y no al cliente como en el caso del factor de potencia.

A continuación la norma técnica que rige la regulación de tensión:

1.2.1.1. Norma técnica de calidad de servicio

Artículo 243° y 244° DS N° 327/97

“La norma técnica fijará las magnitudes de la tensión nominal de 50 Hz.

El proveedor del servicio deberá indicar explícitamente, a cada usuario, la tensión en el punto de conexión entre ambos, en adelante punto de conexión.

Las variaciones u holguras permitidas de la tensión nominal en el punto de conexión, las muestra la siguiente tabla:

Tabla 1.2 Variaciones permitidas de la tensión nominal.

Niveles	Rangos permisibles	
Baja Tensión	- 7.5 % a + 7.5 %	
Media Tensión	- 6.0 % a + 6.0 %	
Alta Tensión	- 5.0 % a + 5.0 %	154 kV y superiores.
	- 6.0 % a + 6.0 %	Inferiores a 154 kV.

Nota:

- Excluyendo períodos con interrupciones de suministro.
- Este rango se debe mantener durante el 95% del tiempo de cualquier semana del año o de siete días consecutivos de medición y registro.

La medición y el registro se efectuarán en la conexión correspondiente. La norma técnica determinará las condiciones de medida y registro de la tensión.

Las fluctuaciones de tensión no deberán superar los límites que determine la norma técnica que al efecto dictará el ministerio, a proposición de la CNE.

La norma técnica fijará el valor efectivo máximo de la componente de secuencia negativa de tensión, los índices correspondientes y la forma de registro. Esta norma, dictada por el Ministerio a proposición de la CNE, establecerá los límites permisibles de desequilibrio de la tensión de suministro, segmentados según las distintas etapas y tensiones nominales del sistema eléctrico”.

1.2.2. Tipos de conexiones de banco de condensadores

Los condensadores (en el Anexo 1 sección 2 se hace referencia a los condensadores de forma específica) instalados en los sistemas de potencia, para cumplir con cualquiera de las funciones descritas en los sistemas trifásicos, se pueden conectar en cualquiera de las conexiones trifásicas más utilizadas que son: Delta, estrella sólidamente aterrizada y estrella con neutro flotante.

En particular, para conexiones en estrella existen variantes que están relacionadas principalmente con los siguientes factores:

- Transitorios de voltaje y corriente.
- Protección contra sobrecorrientes y su coordinación.
- Nivel de tensión del sistema al cual se van a conectar.
- La capacidad del banco y la protección del mismo.

Cabe destacar que la conexión **Estrella con neutro sólidamente aterrizado**, tiene la ventaja de permitir un balanceo de fases más fácil que en otras conexiones, la conexión **Estrella con neutro flotante** presenta la ventaja de evitar en forma importante la presencia de transitorios de sobretensión y permite también una mejor protección contra la sobrecorriente, en cambio tiene el problema de desbalance de tensión, que hace que aparezcan tensiones al neutro, lo que lleva a incorporar protección contra sobretensión en el neutro, la conexión **Delta** se utiliza generalmente en baja tensión, para la corrección del factor de potencia, esta conexión tiene la ventaja de no presentar problemas de desbalance y aísla las corrientes armónicas.

También algunos aspectos que se pueden mencionar para ayudar a la selección más adecuada del banco de condensadores, son las siguientes:

- 1.- Para formar un banco de condensadores, las unidades serie proporcionan el nivel de tensión y los paralelos la potencia. En el Anexo 2 Sección 2 se hace referencia a lo anterior.
- 2.- La conexión en Y con neutro flotante es la que ofrece más ventajas, debido a que con ésta la tensión aplicada a las unidades es la tensión neutro y además requiere de protecciones de menor capacidad; esto sobre todo para instalaciones de bancos de condensadores en sistemas de distribución en donde los bancos son de gran tamaño y cuyas unidades individuales son de menor tensión nominal que la del sistema.

En sistemas industriales en donde por lo general los bancos son pequeños y formados por unidades individuales cuya tensión nominal es el mismo que la del sistema, se tiene que emplear la conexión de modo que la tensión del sistema es la que más se acerque a la del diseño de las unidades.

3.- Cuando los bancos no son de gran potencia, la protección del grupo es la más indicada y el aterrizaje del banco presenta ciertas ventajas. Cuando se aplica un fusible para proteger unidades en grupo, la I_{nominal} de él es más grande con respecto a la de cada unidad individual; entonces, si una de estas unidades fallara, la corriente de falla no sería suficiente para fundir el fusible, a menos que el banco esté con el neutro conectado a tierra. Existe el requisito, que el fusible debe aislar la falla en 0.3 segundos o menos. Esto se satisface fácilmente cuando el banco está conectado a tierra o en delta, ya que cuando una unidad falla, se tiene una falla de Línea a Tierra o entre fases, respectivamente.

4.- De los puntos anteriores, se puede concluir que en aplicaciones industriales se puede tener toda la gama posible de conexiones, dependiendo de cada caso particular.

5.- Cuando en un banco con neutro aterrizado con una sección serie por fase, con fusible individual o grupo, falla una unidad, la tensión a través de las unidades restantes permanece constante. Por el contrario, en el banco con neutro aislado la pérdida de una unidad, incrementa la tensión de operación en las unidades sanas. Lo anterior es crítico para bancos pequeños, donde una unidad individual puede representar un alto porcentaje de la potencia total por fase.

6.- Cuando en un sistema se tienen bancos de condensadores conectados a tierra, se encuentra la probabilidad de que los pararrayos se dañen, ya que un banco se puede descargar a través de un pararrayo que haya operado por un período transitorio y esta corriente de descarga puede ser mayor que la que soporta el equipo.

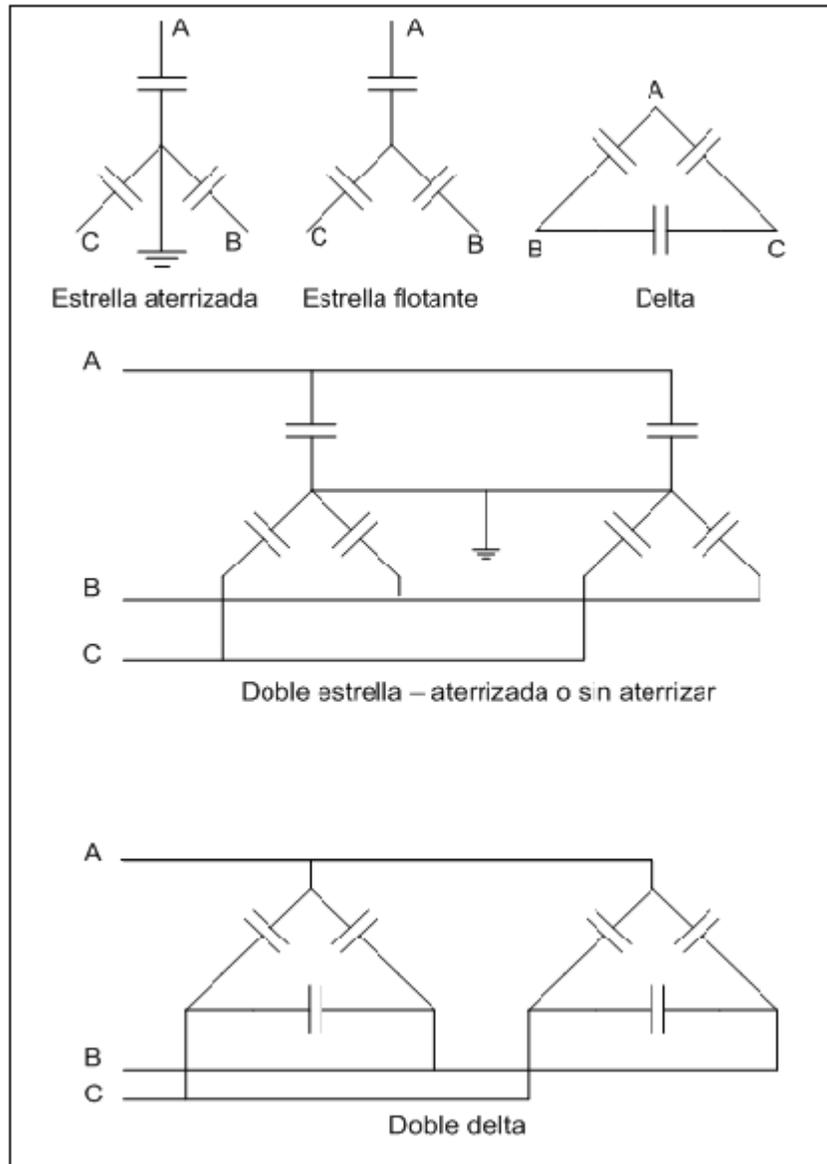


Fig. 1.9 Conexión de bancos de condensadores.

El condensador es un elemento muy sensible a los excesos de tensión, tanto así que un sobrevoltaje del 10% de la tensión nominal lo puede hacer fallar.

1.3. PROTECCIÓN DE BANCO DE CONDENSADORES

Los condensadores, como cualquier otro equipo eléctrico, pueden fallar, y en especial si se considera que es un dispositivo cuyo aislamiento no puede ser muy grueso, cuya superficie expuesta a falla es muy grande y cuyo costo es relativamente bajo. La posibilidad de estas fallas hace imprescindible que en cualquier instalación de condensadores de potencia, ya sea en alta o baja tensión, se requiera la instalación de una protección adecuada (en el Anexo 1 sección 4 subsección 4.1 se hace referencia a la protección por fusible).

1.3.1. Protección con relé

Los bancos de condensadores de gran capacidad, normalmente se protegen con fusibles individuales y relés. Esta forma de protección se apega a la filosofía general de protección, la cual señala que un equipo debe quedar fuera del sistema eléctrico lo más rápidamente posible, una vez que se produce una falla en una parte de él.

Una forma de proteger un banco de condensadores es instalando un fusible en cada unidad (como se puede apreciar en el Anexo 1 sección 4). En este caso, el fusible individual detecta e indica que una unidad ha fallado, aislándola del resto del banco lo suficientemente rápido para prevenir la ruptura del tanque y evitar el daño de las unidades cercanas, permitiendo a la vez que el resto de las unidades del banco permanezcan en servicio. Sin embargo cuando un fusible aísla alguna unidad fallada, se produce un aumento de la tensión en las unidades restantes; por lo tanto, para evitar daño por sobretensiones, se acostumbra proteger los bancos con relés, que deben proporcionar la señal de disparo al equipo de desconexión del banco, cuando el exceso de tensión se acerca a valores peligrosos.

Tabla 1.3 Límites de sobretensión durante tiempos cortos a la frecuencia fundamental que los condensadores son capaces de soportar, a temperaturas bajo cero.

DURACION	MULTIPLICOS DE LA TENSION NOMINAL
0.5 CICLOS	3.0
1.0 CICLOS	2.7
6.0 CICLOS	2.2
15.0 CICLOS	2.0
1.0 SEGUNDOS	1.7
15.0 SEGUNDOS	1.4
100.0 SEGUNDOS	1.3
5.0 MINUTOS	1.2
30.0 MINUTOS	1.15

NOTA: Las sobretensiones durante tiempos cortos a la frecuencia fundamental, están limitadas a los valores listados en el cuadro. En condiciones menos severas, los límites permisibles pueden ser mayores.

La selección de la configuración del banco de condensadores y el diseño del mismo, deben incluir un análisis del efecto del “desbalance propio” del banco en el comportamiento del relé de protección. El desbalance propio del banco se debe a las variaciones presentadas durante la fabricación de las unidades que componen el banco y al desbalance de las tensiones del sistema, los cuales introducen errores en la señal de tensión o corriente que recibe el relé.

1.3.1.1. Consideraciones generales de los relés de desbalance.

Los relés que protegen bancos de condensadores se conocen como relés de desbalance, debido a que detectan el desbalance que se produce al operar un fusible por falla de aislamiento de una unidad y cuya operación en el banco.

En general, un relé de desbalance debe:

1. Coordinarse adecuadamente con los fusibles, de manera que al operar éstos, proporcionen un medio visual para localizar las unidades defectuosas.
2. Tener la suficiente sensibilidad como para accionar una alarma cuando se produzca la pérdida de un condensador, y ordenar el disparo del equipo de

protección cuando quede fuera de servicio un número de unidades tal que causen una condición de sobretensión en exceso al 10% de la tensión nominal.

3. Tener un tiempo de respuesta tan corto que sea mínimo el daño debido a una falla de arco interno y evitar falsas operaciones, debido a corrientes de puesta en servicio, corrientes por descargas atmosféricas, por apertura o cierre de equipos cercanos o porque los contactos del equipo de seccionamiento no abran simultáneamente.
4. Estar protegido contra tensiones transitorias que aparezcan en el alambrado de control.
5. Incluir un filtro para minimizar el efecto de las armónicas.
6. Tener un dispositivo de apertura definitiva, que impida la conexión automática del banco de condensadores después de que se detecta una falla (bloqueo).
7. Proporcionar un medio de compensación que niegue el efecto del desbalance de las tensiones del sistema o el desbalance propio de las unidades por variaciones en la fabricación (rangos del relé).

1.3.1.2. Cálculo de sobretensiones.

Cuando se tiene un sistema trifásico y se aplica tensión a una carga en estrella, con un cierto valor de impedancia en el neutro, la relación entre las tensiones aplicadas y las de carga, están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$E_{12} = E_{1N} - E_{2N} = V_{10} - V_{20} \quad [1.13]$$

$$E_{23} = E_{2N} - E_{3N} = V_{20} - V_{30} \quad [1.14]$$

$$E_{31} = E_{3N} - E_{1N} = V_{30} - V_{10} \quad [1.15]$$

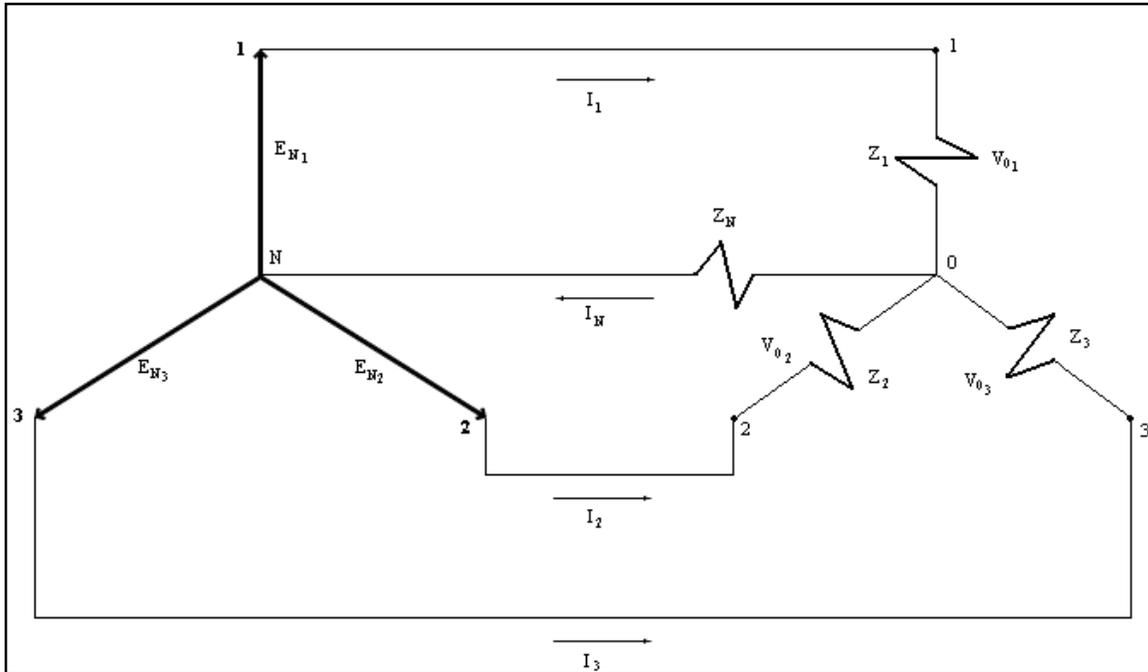


Fig. 1.10 Tensión al neutro en sistema trifásico

La tensión al neutro en el extremo de la carga es:

$$V_{0N} = E_{1N} - V_{10} = E_{2N} - V_{20} = E_{3N} - V_{30} \quad [1.16]$$

La relación de corriente en el nodo 0 es:

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_N = 0 \quad [1.17]$$

que en función de la figura 1.10 también se puede escribir de la siguiente manera:

$$V_{10} \cdot Y_1 + V_{20} \cdot Y_2 + V_{30} \cdot Y_3 - V_{0N} \cdot Y_N = 0 \quad [1.18]$$

Al sustituir el valor de V_{10} , V_{20} y V_{30} de la expresión [1.16] en la ec. [1.18] se obtiene:

$$(E_{1N} - V_{0N}) \cdot Y_1 + (E_{2N} - V_{0N}) \cdot Y_2 + (E_{3N} - V_{0N}) \cdot Y_3 = V_{0N} \cdot Y_N$$

$$V_{0N} = \frac{E_{1N} \cdot Y_1 + E_{2N} \cdot Y_2 + E_{3N} \cdot Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_N} \quad [1.19]$$

La ecuación [1.19] se puede generalizar y queda de la siguiente manera:

$$V_{0N} = \frac{\sum_{k=1}^n E_{KN} \cdot Y_K}{Y_N + \sum_{n=1}^K Y_K} \quad [1.20]$$

1.3.1.3. Protección por corriente de desbalance en el neutro (banco en estrella aterrizada).

La figura 1.11 muestra la protección por medio de la detección de la corriente de desbalance en el neutro para un banco en estrella con neutro conectado a tierra. Al producirse un desbalance en el banco de condensadores, este causa que fluya una corriente entre el neutro del banco y la tierra. Para determinar la magnitud de la corriente de falla de una o varias unidades individuales, y la tensión que se presenta en las unidades restantes se realiza mediante las figuras 1.12 y 1.13, respectivamente. Este método de protección utiliza un transformador de corriente conectado entre el neutro del banco de condensadores y la tierra, más un relé de tensión, de tiempo retardado, con un filtro de tercera armónicas para reducir la sensibilidad ante frecuencias diferentes de 50 Hz. Este relé de tensión opera un relé auxiliar para indicar la apertura y bloquear el cierre del interruptor del banco.

1.3.1.4. Protección por medio de la suma de tensiones en el punto medio (neutro del banco del banco conectado a tierra)

Este método de protección se muestra en la figura 1.14 y consiste en proporcionar una forma de detectar un desbalance al observar la suma de las tensiones a la mitad de las fases en el banco. El porcentaje de desbalance por la pérdida de un cierto número de unidades y la tensión que se presenta en el resto de las mismas se puede determinar de las figuras 1.12 y 1.13, respectivamente. Este método de protección utiliza tres dispositivos

sensores de tensión con sus primarios conectados entre el punto medio del banco de condensadores y la tierra, los secundarios conectados en delta incompleta, más un relé de tensión con retardo de tiempo con un filtro de terceras armónicas. El relé debe estar calibrado para compensar los errores por desbalance propio del banco (debido a que los valores internos de los condensadores no son exactos) y la falta de precisión de los dispositivos sensores de tensión (TPs).

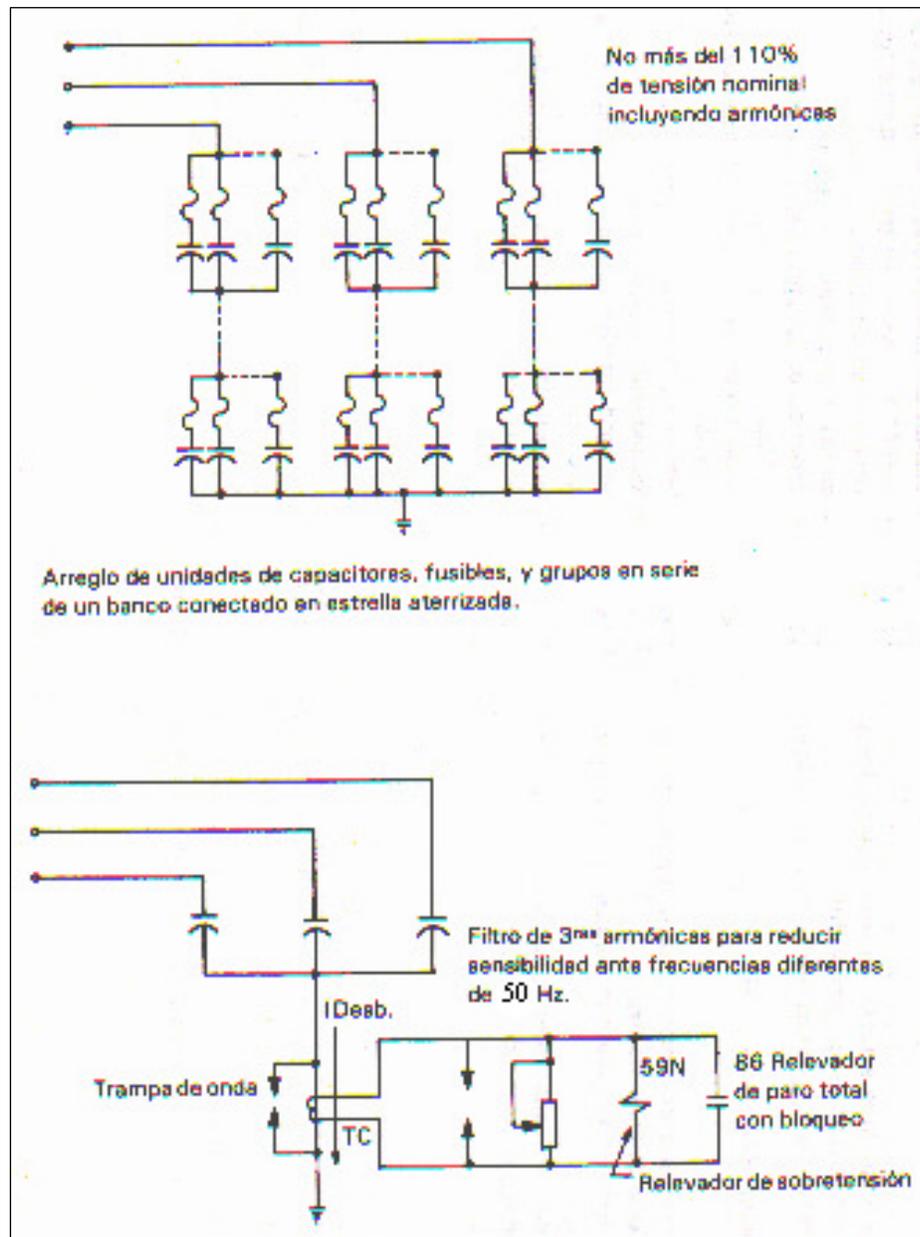


Fig. 1.11 Protección por corriente de desbalance en el neutro.

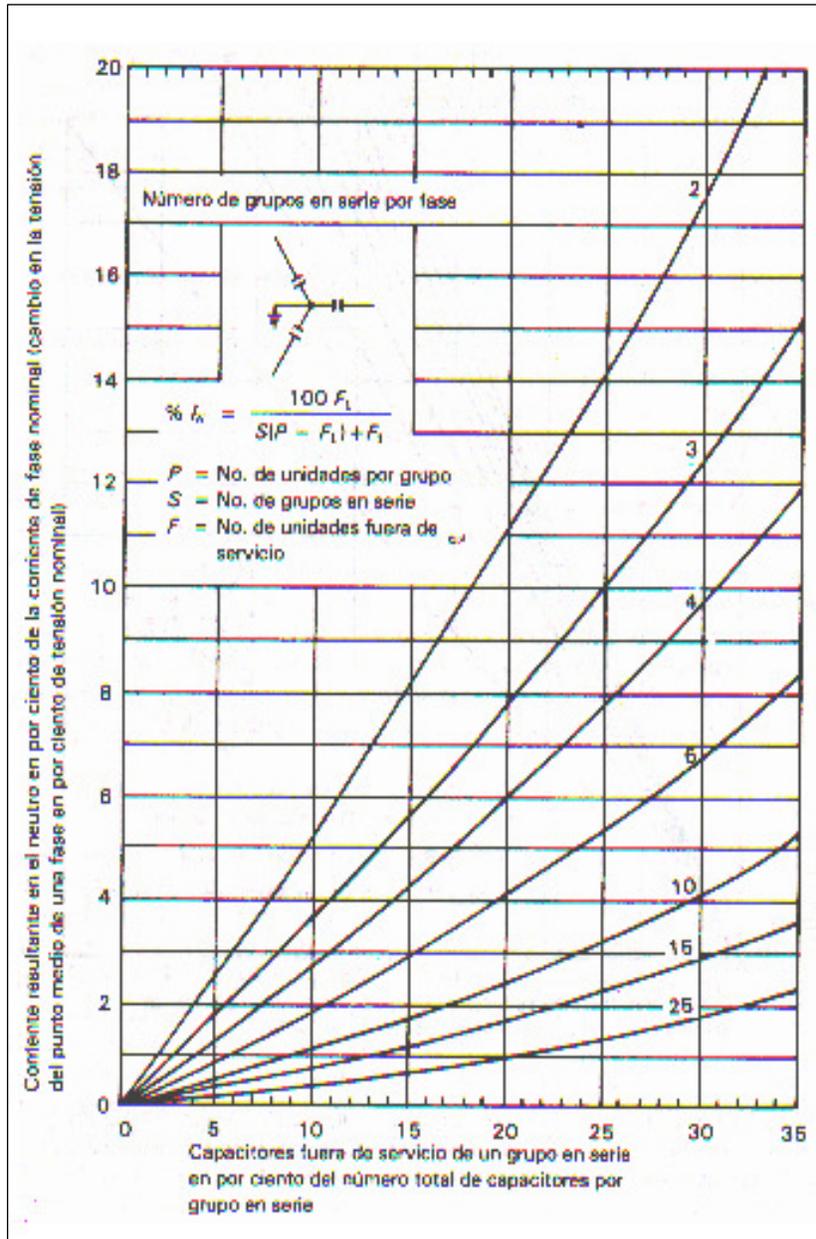


Fig. 1.12 Bancos de condensadores conectados en estrella aterrizada: corriente en el neutro (también es el cambio de tensión en el punto medio) Vs porcentaje de unidades capacitivas eliminadas de un grupo serie.

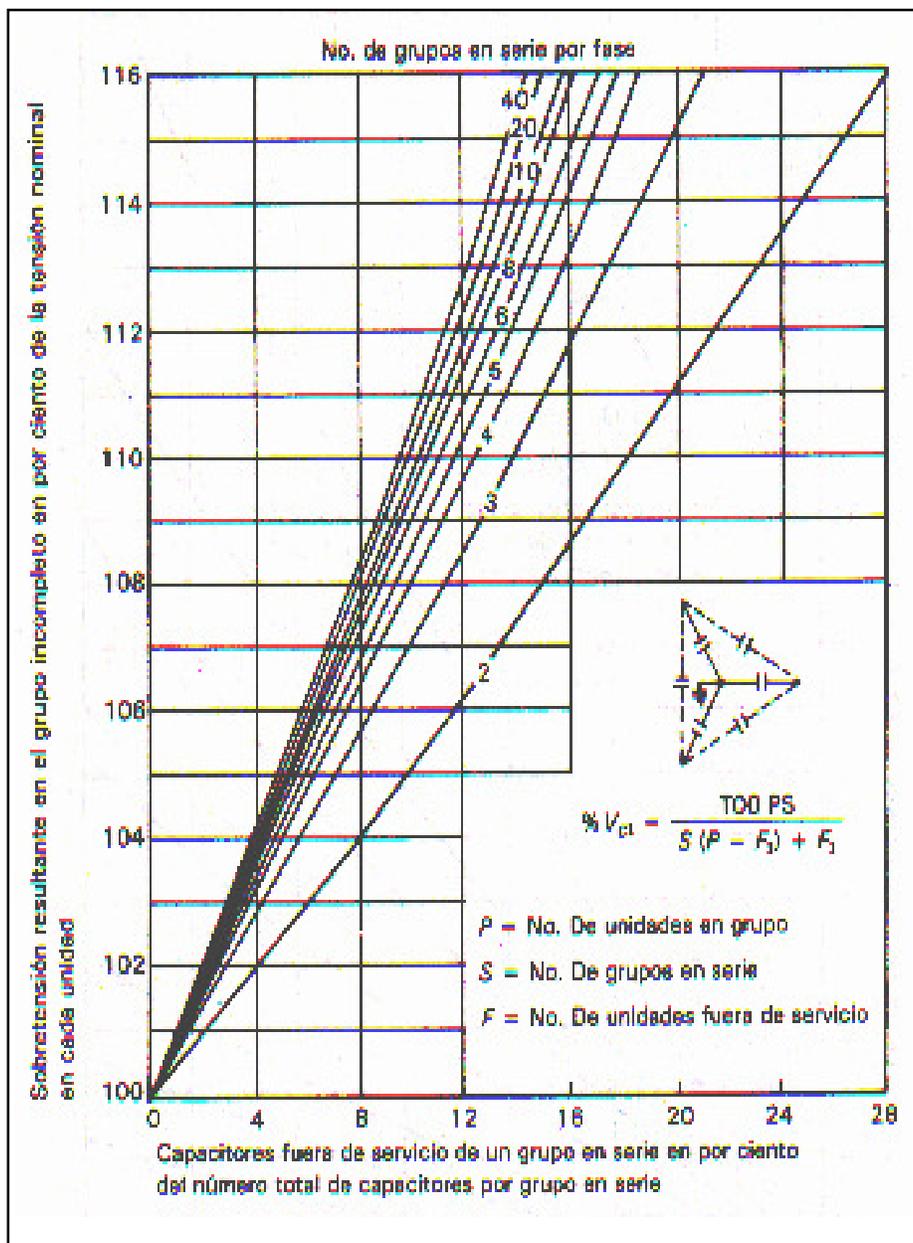


Fig. 1.13 Banco de condensadores conectados en delta o estrella aterrizada: tensión en las unidades capacitivas restantes de un grupo serie Vs porcentaje de las unidades capacitivas eliminadas de un grupo.

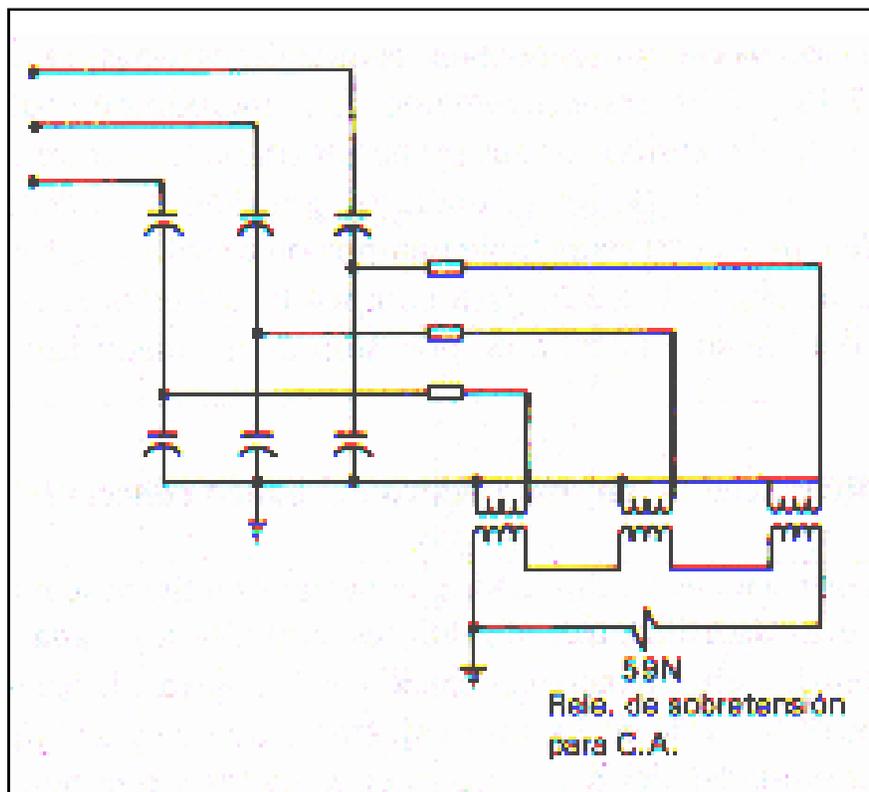


Fig. 1.14 Protección por medio de las sumas de tensiones en el punto medio (banco conectado en estrella con neutro aterrizado).

1.3.1.5. Protección diferencial de tensión (Neutro del banco conectado a tierra).

Otra manera de proteger bancos de condensadores conectados a tierra, se muestra en la figura 1.15; este método utiliza tres relés monofásicos, cada uno detecta la diferencia entre la tensión en el banco y la tensión en las barras. Inicialmente, la tensión de cada fase del banco y de las barras se ajustan para que sean iguales, considerando que todas las unidades del banco no estén dañadas y que ningún fusible ha operado; de esta forma se compensan las variaciones por defectos de fabricación y las variaciones en la tensión de alimentación.

Si la tensión del sistema cambia, el sistema de relés está compensado, ya que a una variación en la tensión de las barras en una fase dada, corresponde a un cambio en la tensión del banco para la misma fase. Cualquier variación subsecuente a este ajuste se deberá a un desbalance causado por el daño de alguna unidad del banco. La magnitud del

desbalance por la pérdida de alguna unidad y la tensión en las unidades restantes se determina en las figuras 1.12 y 1.13 respectivamente.

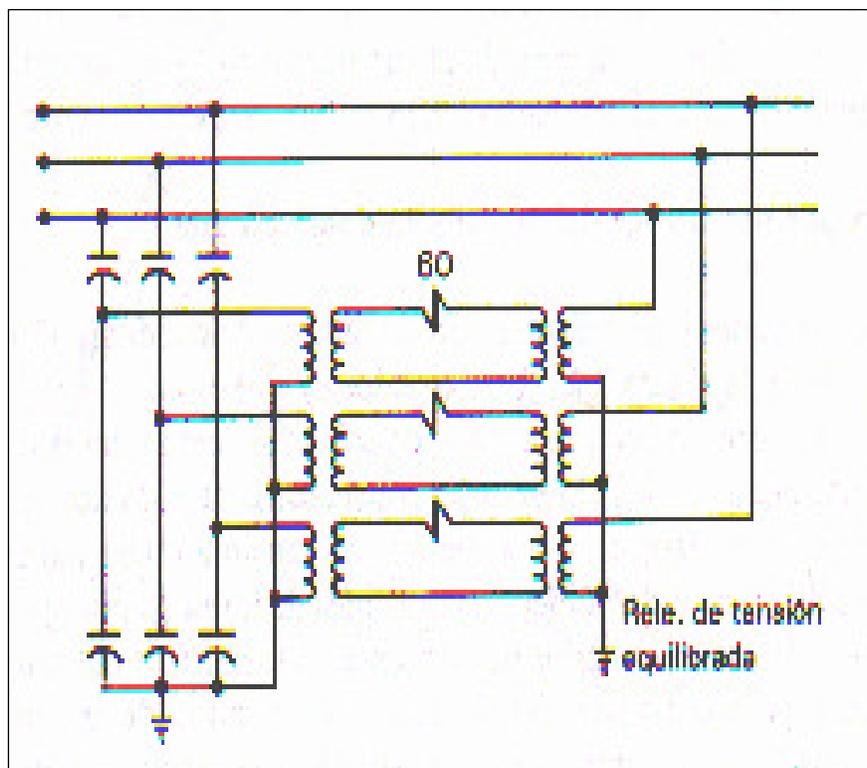


Fig. 1.15 Método de protección diferencial de tensión.

1.3.1.6. Protección por desbalance del arreglo de doble estrella.

En la figura 1.16 se muestran 4 métodos para protección de bancos de condensadores conectados en doble estrella. Los arreglos a y b están sin aterrizar y usan un transformador de corriente con relé de sobrecorriente conectado entre los dos neutros. Estos métodos no son afectados por sistemas con tensiones desbalanceadas, tensiones o corrientes de terceras armónicas o corrientes de impulso por apertura o cierre de interruptores. El transformador de corriente o el transformador de potencial se deben seleccionar para la tensión del sistema. La magnitud de la corriente en el neutro y la sobretensión en las unidades de condensadores restantes para el método de la figura 1.16 a), puede determinarse por medio del Anexo 3 figuras 1 y 2 respectivamente, mientras que la tensión

del neutro y la sobretensión en las unidades capacitivas restantes, para el método mostrado en la figura 1.16 b) se determina por medio del Anexo 3 figuras 3 y 4, respectivamente.

En la figura 1.16 c), los neutros de las dos secciones están aterrizados a través de los transformadores de corriente. Los secundarios de los transformadores de corriente están interconectados a un relé de sobrecorriente de manera que el relé sea insensible a cualquier condición externa, la cual si afecta a ambas secciones del banco de condensadores en la misma forma. Los transformadores de corriente se ven sujetos a corrientes transitorias por apertura o cierre de interruptores y requieren protección de impulso; se deben calibrar para corrientes de carga monofásicas, si es posible y no requieren filtros de armónicas. El desbalance de corrientes y la sobretensión en las unidades restantes se determinan por medio de las figuras 1.12 y 1.13 respectivamente.

En la figura 1.16 d), los neutros de las dos secciones de condensadores están sin aterrizar, pero conectados entre sí. Un transformador de potencial se usa para medir la tensión entre el neutro del banco de condensadores y la tierra. El relé debe tener un filtro de armónicas. La magnitud de la tensión del neutro a tierra resultante por la pérdida de unidades de condensadores individuales se conoce por medio del Anexo 3 figura 5 y la tensión en las unidades de condensadores restantes se pueden establecer mediante el Anexo 3 figura 2.

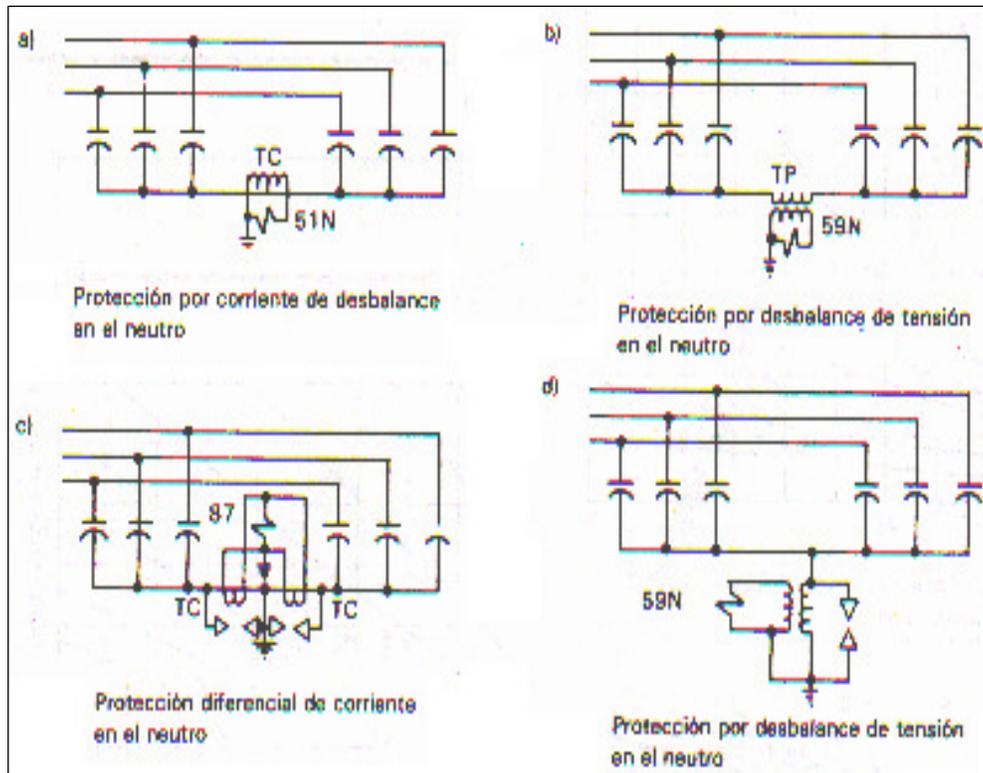


Fig. 1.18 Métodos de protección para bancos de condensadores conectados en doble estrella.

1.3.1.7. Protección por tensión de desbalance en el neutro.

Un desbalance en el banco de condensadores en estrella sin aterrizar, origina una tensión en el neutro con respecto a tierra. La magnitud de la tensión en el neutro por la pérdida de unidades en el banco y la tensión en las unidades restantes, se puede determinar con el Anexo 3 figuras 3 y 4 respectivamente.

CAPITULO II

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO

DE DISPOSITIVOS.

2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE DISPOSITIVOS

2.1. BANCO AUTORREGULADO MODELO PR-2D, SERIE MURAL. DNA ENERGÍA.

El objetivo general de este seminario de titulación, está basado en la aplicación del relé SEPAM serie 80, a un regulador de factor de potencia controlado por un microprocesador. Este hace que este sistema sea clasificado como sistema automático. Esta generación de reguladores de potencia reactiva PR-2D, en las versiones de 6 y 12 escalones aportan al usuario excelentes ventajas de utilización.

A título general se puede considerar:

- El transformador de intensidad debe ser conectado en la fase R.
- Se toma la medida de tensión entre las fases R – S.
- No necesita ajustes, ya que el valor de sensibilidad $(C/K)^5$ es automático y el $\cos \phi$ va preajustado al valor unidad.
- Detecta los fallos de tensión e intensidad.
- Efectúa un control de la corriente total y por escalón.
- Registra el número de maniobras de cada contactor.

Esta banco está destinada normalmente a la compensación de energía reactiva en pequeñas instalaciones industriales, como por ejemplo comunidades de viviendas, pequeños locales comerciales, etc. El modelo de esta banco de condensadores está controlado por el regulador que se utiliza.

Este equipo está compuesto por:

- ❖ 6 condensadores MA/C/CE (antiexplosión) DNA Energía.
 - 1 condensador de 2 kVAr, 2.8 A.
 - 5 condensadores de 4 kVAr, 5.6 A.
 - Potencia total de la batería 22 kVAr.

⁵ Es la sensibilidad de respuesta del regulador. Donde: C = potencia por escalón; K = Razón de transformación. Si C/K menor a 0.1 A, se debe elevar la potencia por escalón, o bien reducir la razón de transformación. Si C/K mayor a 1 A, se debe realizar lo contrario al caso anterior.

- ❖ 6 contactores Danfoss, adaptados al corte de corrientes capacitivas.
- ❖ 8 interruptores automáticos LG.
 - 6 interruptores automáticos trifásicos para los condensadores, de 10 A, 6 kA.
 - 1 interruptor automático trifásico general de 50 A, 20 kA.
 - 1 interruptor automático monofásico para la protección del regulador, de 6 A.
- ❖ Resistencias de descarga rápida.
- ❖ Regulador de potencia reactiva modelo PR-2D, 6 escalones, DNA Energía.
- ❖ Armario metálico, 100x800x300 mm, normalizado.

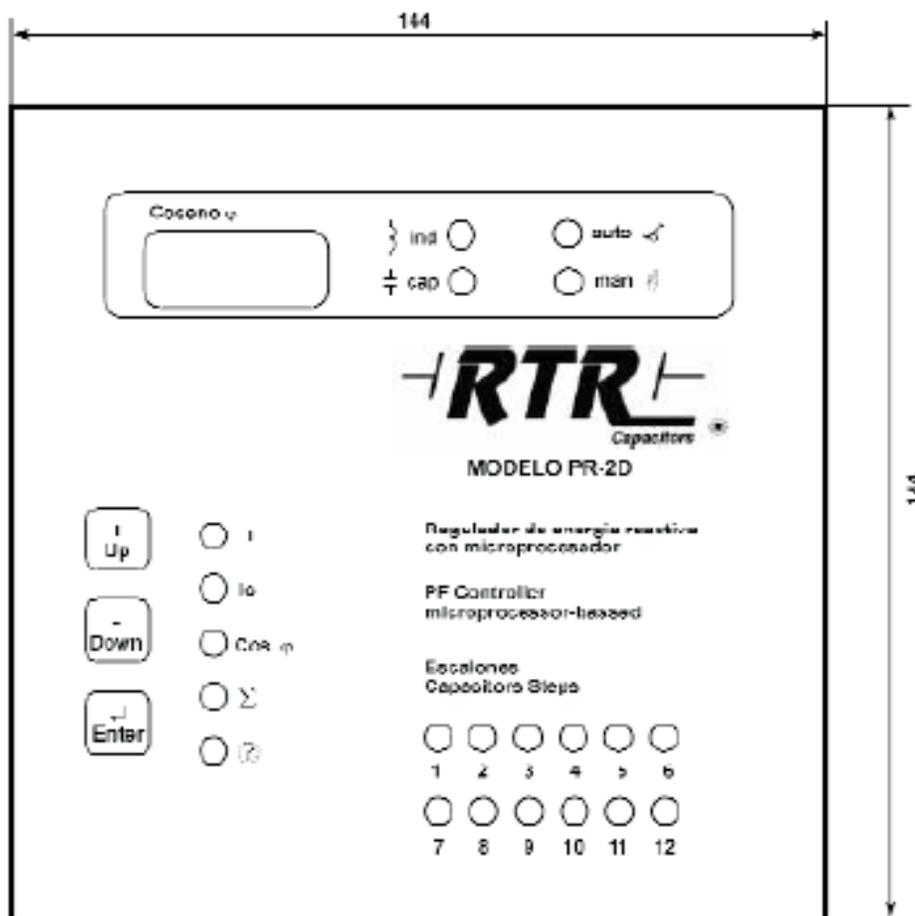


Fig. 2.1 Regulador de potencia reactiva con microprocesador. Vista frontal.

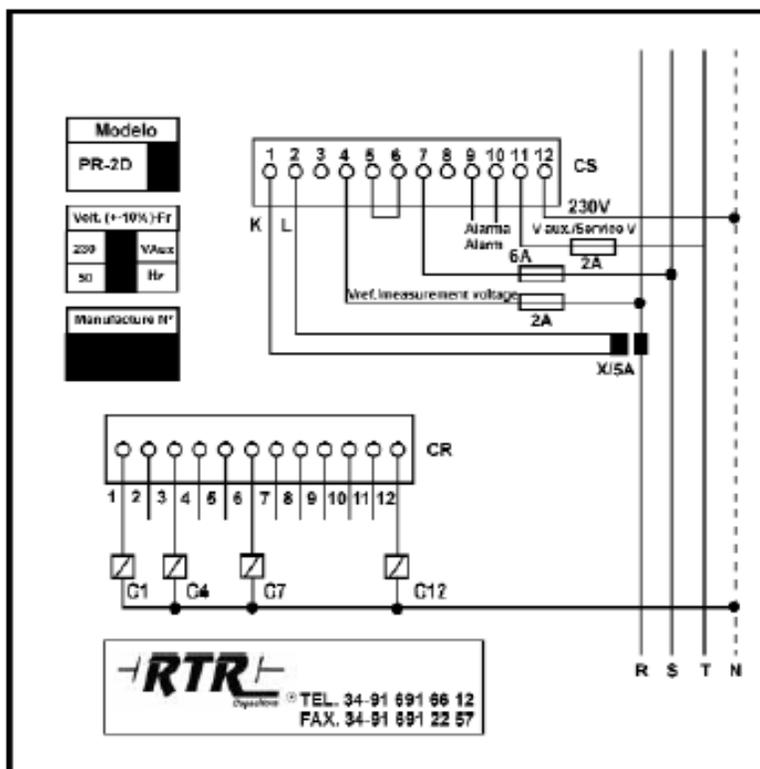


Fig. 2.2 Regulador de potencia reactiva controlado por microprocesador. Vista posterior.

2.1.1. Características generales de aplicación.

- Control por microprocesador que aporta una óptima maniobra de los escalones.
- Programación automática que permite evitar operaciones erróneas por mala conexión del transformador de intensidad o de las fases.
- Programación automática de los escalones de los condensadores conectados y por lo tanto ajuste automático del valor C/K. En consecuencia, conexión automática del escalón apropiado en cada momento.
- Señalización mediante led del número de escalones en servicio.
- Indicación de la tendencia de conexión (inductiva - capacitiva).
- Visualización digital del valor del $\cos\phi$.
- Posibilidad de modificar la conexión FASE - FASE o FASE - NEUTRO.
- Relé de alarma (10 A, 250 V).

Además, a través de los tres pulsadores ubicados en la carátula frontal (incrementar, disminuir e introducir) se pueden obtener una gran variedad de informaciones, a saber:

- Funcionamiento automático, semiautomático o convencional.
- Visualización del valor de la intensidad que se aporta al regulador.
- Intensidad que circula por cada escalón.
- Ajuste de forma digital del valor del $\cos\varphi$ entre -0.95 capacitivo y -0.85 inductivo.
- Ajuste del tiempo de conexión – desconexión.

2.1.2. Aplicación

Para una corrección automática del factor de potencia, el regulador debe medir y registrar la potencia reactiva y el desfase del $\cos\varphi$, comparando este valor con el que se ha predispuesto para proceder a la conexión de escalones.

En un regulador convencional se precisan los siguientes datos:

- Potencia del escalón más pequeño.
- Factor de potencia requerido ($\cos \varphi$).
- Secuencia de conexión deseada.
- Tipo de conexión (Fase – Fase; Fase – neutro).
- Tipo de transformador de intensidad, y su relación de transformación para poder determinar el valor C/K.

De todos estos datos, sólo el factor de potencia requerido y el tipo de conexión son los datos normalmente conocidos por el usuario, mientras que los otros datos se deberán definir mediante cálculos o tablas que en muchas ocasiones conducen a errores que determinan un funcionamiento anómalo.

El regulador posee un complejo sistema, desarrollado para efectuar automáticamente esos cálculos y realizar una compensación de la energía reactiva de forma ideal.

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. Por lo cual puede operar cuando existe una inversión del flujo de potencia (el regulador con independencia de la dirección de la corriente).

2.1.3. Procedimiento

Antes de proceder a la puesta en marcha, se debe verificar que la instalación este en funcionamiento, con las cargas adecuadas para que las pruebas que realice el regulador no pongan la red en condición capacitiva. Por regla general esto está asegurado con aproximadamente el 50% de cargas lo que corresponde a 2 kVAr. La secuencia de fases debe ser correcta para un buen funcionamiento.

RESET INICIAL: Pulsar simultáneamente las teclas UP(+), DOWN (-) y ENTER durante el tiempo suficiente para que se ilumine el display y todos los leds de servicio (a excepción de los leds que señalizan los escalones conectados), dejando de pulsar cuando esto ocurra. Con esto se realiza un reset general del regulador.

2.1.4. Puesta en marcha del regulador.

El regulador se suministra de forma normalizada predispuesto de la siguiente forma:

- Conexión FASE – FASE (si se desea la conexión FASE - NEUTRO se debe poner el interruptor n°1 en condición off)
- Conexión circular⁶ (si se desea optar por la conexión serie, se debe poner el interruptor n°2 en condición off)
- $\text{Cos } \varphi$ predispuesto en valor 1.00.
- Factor de retardo en la conexión de escalones: 1.0.
- Modo de funcionamiento: Automático.

⁶ Es el tipo de conexión de los contactores, los cuales ordenan el primer condensador en entrar en servicio y el primero en salir, considerando la cantidad de conexiones de ese condensador, para lograr un desgaste parejo de los mismos.

El interruptor doble tipo dip-switch, por criterios de seguridad está ubicado en el interior del regulador (circuito impreso frontal), para acceder a él se debe quitar primeramente el marco y la carátula frontal.

Una vez determinados los parámetros pertinentes, se realiza un ciclo inicial que da paso al funcionamiento del regulador.

Ciclo inicial.

Al aplicar la tensión al equipo, se inicia de forma automática un ciclo que define los parámetros generales de funcionamiento del regulador, sin que sea necesaria ninguna intervención por parte del usuario, apareciendo en el display y de forma secuencial, una serie de indicaciones:

1. “8.8.8” Y todos los leds de servicio, iluminados. Esta secuencia verifica el perfecto estado de todos los elementos de señalización (a excepción de los leds de escalones).
2. “1.0.0” Indica la versión de software utilizado en este aparato.
3. “F – F” Indica el tipo de conexión para la tensión de referencia (en este caso Fase – Fase).
4. “5 – A” indica que el regulador está predispuesto para un transformador de intensidad normalizado X/5 (ejemplo: 50/5, que es el utilizado en este regulador).
5. “A – 1” regulador dispuesto a funcionar en sistema automático. Si se desea el programa semi – automático, se deberá predisponer “A – 2” y si se prefiere el modo convencional “A – 3”. En el caso que se desee cambiar la configuración A-1 (predefinida por el fabricante), se debe presionar la tecla “DOWN (-)” hasta que en el display aparezca la configuración deseada (“A – 2”, “A – 3”).

Una vez que se hayan verificado todos los parámetros del ciclo inicial, el regulador está dispuesto para efectuar los cálculos que determinan su funcionamiento (indicándose en el display “AJU”).

Para que el regulador pueda efectuarlos será necesario que la red tenga carga inductiva y que el transformador de intensidad de la línea, aporte como mínimo 0.150 A.

Una vez finalizado el ciclo inicial, el regulador puede iniciar su funcionamiento en una de sus tres modalidades, según lo dispuesto en la quinta indicación del ciclo inicial:

- Forma automática.
- Forma semi – automática.
- Forma convencional.

Funcionamiento del Regulador en forma Automática.

Efectuados los pasos anteriormente citados, aparecerá en display “AJU”. Esta indicación significa que el regulador está preparado para iniciar el proceso de cálculos internos.

Pasados 25 segundos se inician unos ciclos para la toma de datos por parte del regulador.

Ciclo nº1. El regulador identificará las conexiones efectuadas por el usuario (transformador de intensidad y tensión de referencia), iniciándose una secuencia de 5 operaciones de forma automática consistente en conectar – desconectar uno o varios escalones en cada operación, quedando indicada cada una de ellas en el display de la siguiente forma “-1-“, “-2-“, ...,“-5-“, una vez efectuados todos estos pasos, el display indicara “AJU”, para pasar por si solo al segundo ciclo.

No obstante, si durante este primer ciclo no ha existido ninguna variación en los parámetros de entrada, aparecerá la lectura “E.r.r” (error) y los leds indicadores de tendencia “ind” y “cap” parpadearan, reiniciándose la operación.

El aparato volverá a repetir en cinco intentos y de forma automática el ajuste y si se confirma que durante este tiempo no ha habido ninguna variación, el display indicara “F.a.L” (indicación de fallo por no haber existido ninguna variación de parámetros de entrada) siendo preciso en consecuencia pasar al sistema de ajuste semiautomático.

Ciclo nº2. En este caso, el regulador realiza el cálculo automático del valor C/K de cada escalón en 3 secuencias, representadas en el display por “2.1”, “2.2” y “2.3”, conectándose en cada una de ellas todos los escalones de uno en uno.

Una vez terminadas todas estas secuencias, sin que haya sido necesaria ninguna intervención por parte del usuario, el regulador entrará en funcionamiento, indicando de

forma directa en el display el valor del $\cos \varphi$ de la línea, iluminándose el led de funcionamiento automático y el de tendencia.

2.1.5. Menú de lecturas

Mediante este menú se pueden conocer de forma secuencial:

- La intensidad suministrada por el secundario del transformador de corriente.
- La intensidad de cada escalón.
- El $\cos \varphi$ prefijado.
- El número de maniobra que ha efectuado cada contactor.
- El factor de tiempo predispuesto para la conexión – desconexión de escalones.

Para tener acceso a estos datos, se utilizará exclusivamente el pulsador “introducir” (la orden de ejecución se realiza con la desactivación mecánica de este pulsador).

Al efectuar la primera pulsación se tiene acceso a la primera posición que determina la intensidad del secundario del transformador de corriente, con la segunda pulsación la intensidad de cada escalón y así sucesivamente hasta completar el ciclo de las cinco secuencias. En las secuencias donde existan varios submenús, (intensidad de cada escalón, el valor del $\cos \varphi$ prefijado, el número de maniobras de cada contactor y el factor de tiempo de conexión – desconexión de escalones), se accionarán los pulsadores “incrementar” o “disminuir”.

Si durante cualquiera de estas operaciones descritas no se ha accionado ningún pulsador en 30 segundos, o se ha completado todo el ciclo de las cinco funciones de forma manual, el sistema vuelve por si solo a la secuencia de trabajo que había antes de iniciar el proceso “menús”.

2.1.6. Conexión de la batería de condensadores autorregulada.

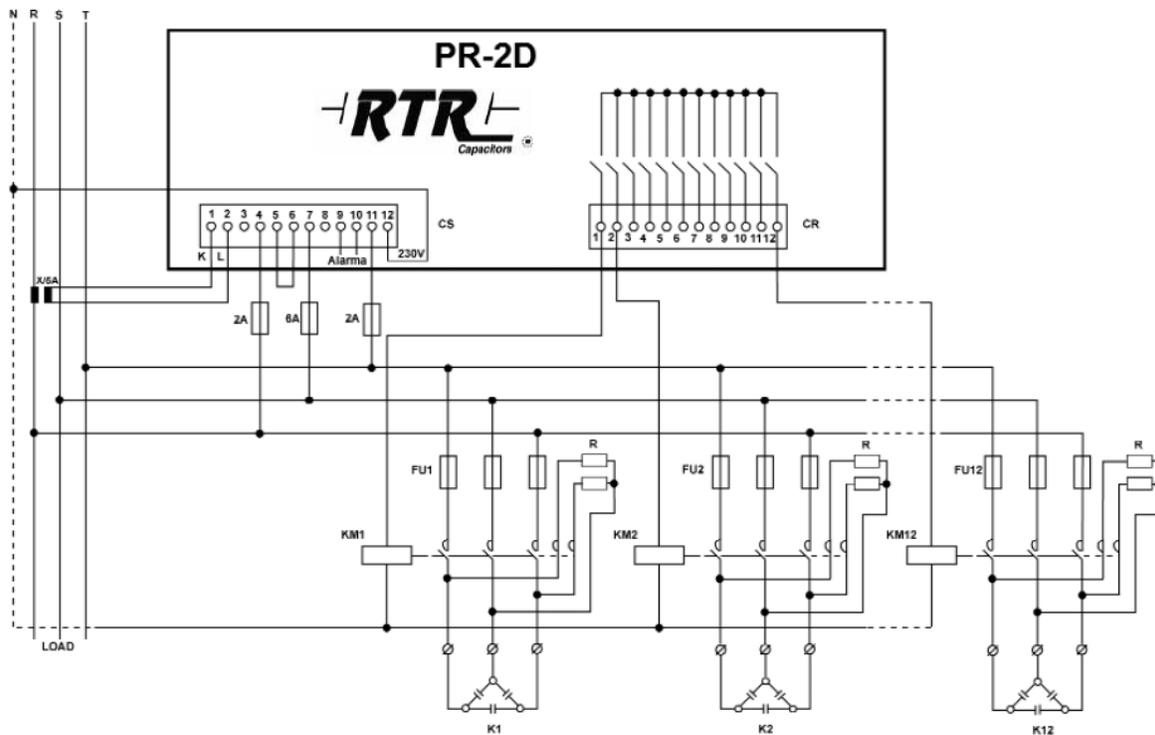


Fig.2.3 Conexión del regulador de potencia reactiva.

NOTA: Cabe destacar que las salidas del regulador de potencia reactiva hacia los contactores son a 220 V

2.2. PROTECCIÓN MULTIFUNCIÓNAL SEPAM SERIE 80

SEPAM serie 80 es un relé digital multifuncional diseñado por la empresa Schneider Electric. Este equipo cumple variadas funciones, que se pueden ajustar según la necesidad, ya sea para proteger un motor, transformador, subestación, condensadores o barras. El SEPAM está formado por 3 familias de relés:

- SEPAM serie 20
- SEPAM serie 40
- SEPAM serie 80

Para lograr cubrir todas las necesidades, se emplea el serie 20 para la más sencilla, y para la más compleja se emplea la serie 80.

El SEPAM serie 80 posee dieciséis tipos de protecciones que son: subestación (S80, S81, S82 y S84), transformador (T81, T82 y T87), generador (G82, G87 y G88), motor (M81, M87 y M88), barras (B80 y B83) y por último el tipo condensador (C86). Este modelo de la serie SEPAM (serie 80), es el más completo, se incorporó en estos equipos una mayor cantidad de funciones y por supuesto más unidades por cada función. La cantidad de entradas lógicas es de 42 y 23 salidas de relé, además del editor de ecuaciones lógicas, dos puertos de comunicación Modbus, dieciséis entradas para sondas de temperatura y un cartucho de memoria. Posee un IHM (Interfaz Hombre Máquina) avanzado y una versión que incorpora un mímico de la aplicación.

A pesar de la utilidad que tienen las protecciones digitales (como el SEPAM), éstas poseen algunas desventajas que son:

- Su mayor costo individual.
- Su seteo requiere de personal especializado y de mayor preparación tecnológica.
- Necesita de implementación adicional, como fuentes, transductores e interfaces.
- Está sujeta a fallas de programación.

Las ventajas que poseen las protecciones digitales sobre las protecciones electromagnéticas y de estado sólido en general, son:

- Pueden agruparse diferentes procesos de protección con una misma información básica.
- Es a prueba de vibraciones y golpes.
- No es necesario el mantenimiento de rutina.
- Ajuste sencillo.
- Bajo consumo y alto rendimiento de los transformadores de corriente.
- Tamaño reducido, óptima utilización del espacio en los tableros.
- Pruebas operacionales integradas, para simplificar las pruebas de rutina.
- Amplia gama de características para protecciones más efectivas.
- Adecuados para instalaciones en ambientes húmedos y no muy corrosivos con temperaturas hasta 70 °C

- Opciones de monitoreo y control remoto.
- Almacenamiento histórico de eventos.

2.2.1. Descripción del relé SEPAM Serie 80.

SEPAM (Sistema Electrónico de Protección, Automatización y Medición) es un equipo multifuncional de protección para redes de MT/AT (figura 2.4). Este es un dispositivo que posee una amplia gama de protecciones las cuales dependerán del tipo de aplicación que se utilice.



Fig. 2.4 SEPAM serie 80.

En las siguientes figuras se pueden apreciar las características del hardware, tanto de la parte frontal como posterior:

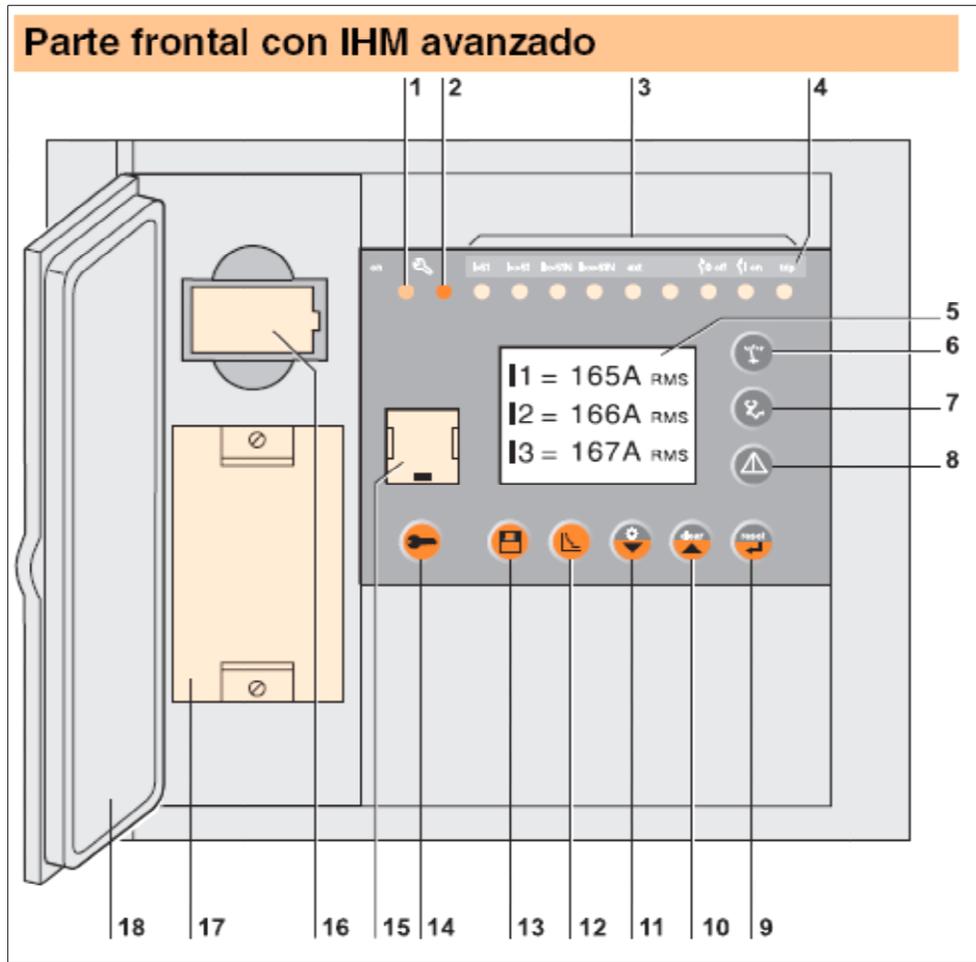


Fig. 2.5 Panel frontal del SEPAM serie 80.

Donde:

- 1 Indicador verde SEPAM en tensión.
- 2 Indicador rojo SEPAM no disponible.
- 3 9 indicadores amarillos de señalización.
- 4 Etiqueta de asignación de los pilotos de señalización.
- 5 Pantalla LCD gráfica.
- 6 Visualización de las medidas.
- 7 Visualización de información de diagnóstico del equipo y la red.
- 8 Visualización de los mensajes de alarma.

- 9** Rearme de SEPAM (o validación de introducción).
- 10** Acuse de recibo y borrado de las alarmas (o desplazamiento del cursor hacia arriba).
- 11** Test de los indicadores (o desplazamiento del cursor hacia abajo)
- 12** Visualización y ajuste de las protecciones activadas.
- 13** Visualización de la información de SEPAM y Logipam.
- 14** Introducción de las 2 contraseñas.
- 15** Puerto RS 232⁷ de conexión PC.
- 16** Pila de seguridad.
- 17** Cartucho de memoria.
- 18** Puerta.

⁷ Es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE(Equipo terminal de datos) y un DCE (*Data Communication Equipment*, Equipo de Comunicación de datos).

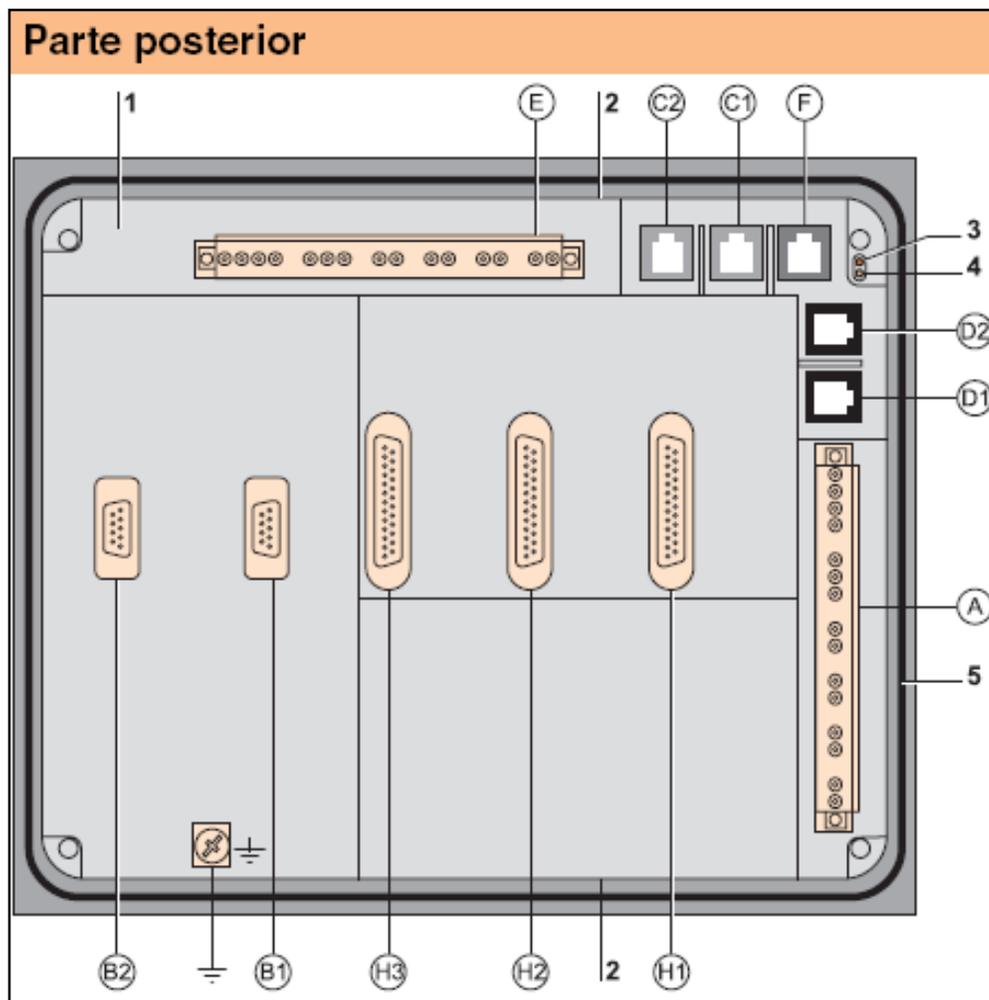


Fig. 2.6 Panel posterior SEPAM serie 80.

Donde:

- 1 Unidad básica.
 - 2 8 puntos de anclaje para 4 grapas de fijación con resorte.
 - 3 Indicador rojo SEPAM no disponible.
 - 4 Indicador verde SEPAM en tensión.
 - 5 Junta de estanqueidad.
- Ⓐ Conector de 20 puntos de conexión de:
- La alimentación auxiliar 24 V CC a 250 V CC.
 - 5 salidas de relé.
- Ⓑ Conector de conexión de las 3 entradas de corriente de fase I1, I2, I3.

- ⓑ2 ▪ SEPAM T87, M87, M88, G87, G88:
Conector de conexión de las 3 entradas de corriente de fase I'1, I'2, I'3.
- SEPAM B83: conector de conexión de:
 - 3 entradas de tensiones de fase V'1, V'2, V'3.
 - 1 entrada de tensión residual V'0.
- SEPAM C86: conector de conexión de las entradas de corriente de desequilibrio del condensador.
- Ⓒ1 Puerto de comunicación Modbus n°1.
- Ⓒ2 Puerto de comunicación Modbus n°2.
- Ⓓ1 Puerto de enlace n°1 con los módulos remotos.
- Ⓓ2 Puerto de enlace n°2 con los módulos remotos.
- Ⓔ Conector de 20 puntos de conexión de:
 - 3 entradas de tensión de fase V1, V2, V3.
 - 1 entrada de tensión residual V0.
 - 2 entradas de corriente residual I0, I'0.
- Ⓕ Puerto de reserva.
- Ⓖ1 Conector de conexión del 1^{er} módulo de entradas/salidas MES120.
- Ⓖ2 Conector de conexión del 2^{do} módulo de entradas/salidas MES120.
- Ⓖ3 Conector de conexión del 3^{er} módulo de entradas/salidas MES120.
-  Tierra funcional.

Características técnicas del relé SEPAM serie 80.

La alimentación del SEPAM puede variar de 24 Vdc a 250 Vdc, éste posee entradas de corriente; TI 1[A] ó TI 5 [A]. La polaridad de conexión de la alimentación auxiliar es importante. La conexión correcta de la tensión auxiliar es (borna 1 polaridad positiva; borna 2: polaridad negativa), del conector (A). Esta protección posee salidas de relé de control (O1 a O4) y una salida de señalización (O5), estas salidas pueden ser extendidas a través de los MES 120 ó MES 120G.

Otro componente importante es el cartucho de memoria extraíble, el cual es el alma del equipo ya que es en esta unidad donde se diferencia una aplicación de la otra. El relé SEPAM consta de 16 aplicaciones, por lo que para cada una se necesitan cartuchos distintos, esto no significa que el equipo al tener un cartucho de una aplicación determinada no se pueda ocupar para cualquiera de las otras 15 aplicaciones restante, pero si quedarán desactivadas unidades de protección específicas que traen los cartuchos de memoria especiales para cada aplicación.

Cartucho de memoria extraíble

El cartucho (fig. 2.7 (a)) contiene todas las características de SEPAM serie 80:

- El conjunto de los parámetros y ajustes de SEPAM serie 80.
- Todas las funciones de medida y protección necesarias para la aplicación.
- Las funciones de control predefinidas.
- Las funciones adaptadas gracias a la matriz de control o a las ecuaciones lógicas.
- Las funciones programadas por Logipam (opcional).
- El sinóptico de control local personalizado.
- Los contadores de energía y los valores de diagnóstico del parametraje.
- Los idiomas de trabajo, personalizados o no.

Puede estar precintado para prevenir manipulaciones inesperadas.

Se puede extraer y se puede acceder fácilmente a la parte frontal de SEPAM para reducir la duración de las operaciones de mantenimiento.

Cuando falle el hardware de una unidad básica, es suficiente con:

- Desconectar el SEPAM y desenchufar sus conectores.
- Recuperar el cartucho original.
- Sustituir la unidad básica defectuosa por una unidad básica de repuesto (sin cartucho).
- Volver a colocar el cartucho original en la nueva unidad básica.
- Volver a colocar los conectores en su sitio y conectar el SEPAM:

El SEPAM está operativo, con todas sus funciones estándar y personalizadas, sin necesidad de volver a configurar los parámetros y los ajustes.

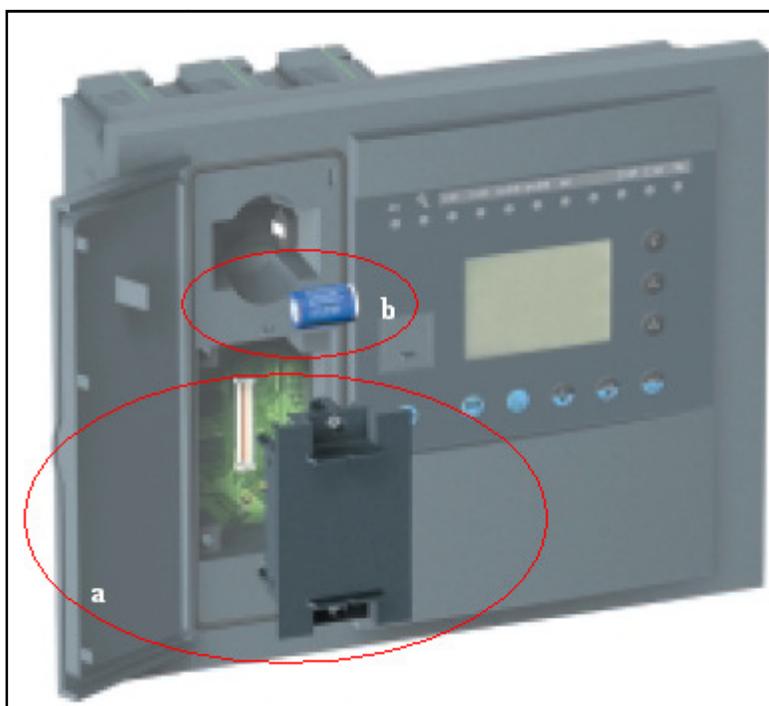


Fig. 2.7 a) Memoria extraíble; b) Pila.

NOTA: Al insertar la memoria de alguna aplicación, el SEPAM puede perfectamente proteger otra aplicación, con la diferencia que no se podrán utilizar las protecciones específicas de cada memoria. Por ejemplo al tener insertada una memoria S80, igual se puede proteger un banco de

condensadores, con las protecciones comunes (50/51, 59N, 50N/51N, etc.), pero **NO** las específicas como 51C (desequilibrio gradual de condensadores).

Módulos MES 120

Son extensiones de las 5 salidas de relé que se encuentran presentes en la unidad básica del SEPAM serie 80, lo cual se puede realizar agregando 1, 2 o 3 módulos MES 120 (fig. 2.8) de 14 entradas lógicas continuas y 6 salidas de relé (1 salida de relé de control y 5 salidas de relé de señalización).

Existen 2 módulos para adaptarse a los diferentes rangos de tensión de alimentación de las entradas con umbrales de basculamiento diferentes:

- *MES 120*, 14 entradas de 24 Vcc a 250 Vcc con un umbral de basculamiento típico de 14 Vcc.
- *MES 120G*, 14 entradas de 220 Vcc a 250 Vcc con un umbral de basculamiento típico de 155 Vcc.

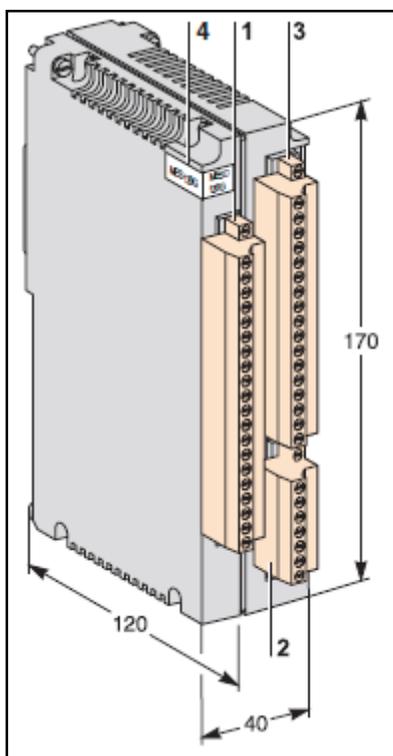


Fig. 2.8 Modulo MES 120.

Para conocer más características del MES120, ver el Anexo 4.

Los módulos constan de 3 conectores de conexión por tornillos, extraíbles y enclavables por atornillado.

1 Conector de 20 bornes de conexión de 9 entradas lógicas:

- Ix01 a Ix04: 4 entradas lógicas independientes.
- Ix05 a Ix09: 5 entradas lógicas de punto común.

2 Conector de 7 bornes de conexión de 5 entradas lógicas con punto común Ix10 a Ix14.

3 Conector de 17 bornes de conexión de las 6 salidas de relé:

- Ox01: 1 salida de relé de control.
- Ox02 a Ox06: 5 salidas de relé de señalización.

Direccionamiento de las entradas / salidas de un módulo MES120:

- $x = 1$ para el módulo conectado al conector H1.
- $x = 2$ para el módulo conectado al conector H2.
- $x = 3$ para el módulo conectado al conector H3.

4 Etiqueta de identificación de los MES120G (los MES120 no tienen etiqueta).

Los módulos MES 120 internamente son de la siguiente manera:

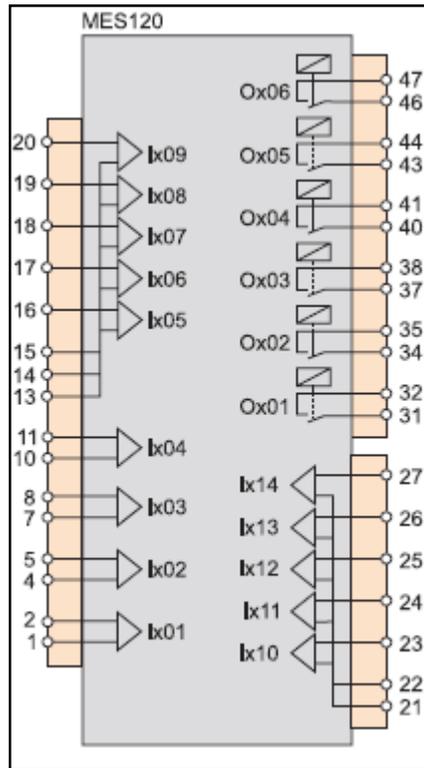


Fig. 2.9 MES 120 internamente.

2.2.2. Funciones de Automatismos

El SEPAM realiza todas las funciones de control y supervisión necesarias para la explotación de la red:

- Las funciones de automatismo principales se definen y corresponden a los casos de aplicación más frecuentes. Listas para el empleo, se instalan mediante simple parametrización, tras la asignación de las entradas/salidas lógicas necesarias.
- Las funciones de automatismos predefinidas se pueden adaptar a necesidades concretas a través del software SFT2841, que ofrece las siguientes funciones:
 - Edición de ecuaciones lógicas para adaptar y completar las funciones de automatismo predefinidas.

- Creación de mensajes personalizados para la señalización local.
- Creación de sinópticos personalizados correspondientes a los equipos que se van a controlar.
- Personalización de la matriz de control para adaptar la asignación de las salidas de relé, los indicadores y los mensajes de señalización.
- Con la opción Logipam, SEPAM puede llevar a cabo las funciones de automatismo más diversas, programadas con ayuda del software SFT2885, software de programación en lenguaje de contactos Logipam.

2.2.2.1. Principio de funcionamiento

El tratamiento de cada función de automatismo se puede descomponer en 3 fases:

- Adquisición de la información de las entradas:
 - Resultados del tratamiento de las funciones de protección.
 - Información externa todo o nada, conectada a las entradas lógicas de un modulo opcional de entradas/salidas MES120.
 - Ordenes de control local, transmitidas por el interface hombre-máquina sinóptico.
 - Telemando (TC) procedente de la comunicación Modbus.
- Tratamiento lógico de la función de automatismo propiamente dicha.
- Explotación de los resultados de tratamiento:
 - Activación de las salidas de relé para controlar un aparato.
 - Información para el usuario:
 - Mediante mensaje indicador de señalización en la pantalla del SEPAM y el software SFT2841.
 - Por teleseñalización (TS) para la información remota a través de la comunicación Modbus.
 - Por señalización en tiempo real del estado de los equipos en el sinóptico animado.

2.2.2.2. Asignación de las entradas/salidas lógicas.

La asignación de las entradas y salidas a una función de automatismo predefinida, se puede parametrizar a través del software SFT2841, según las utilidades que se le quieran dar, algunas entradas y salidas vienen predefinidas de fábrica y otras son de libre utilización.

- Todas las entradas lógicas, asignadas a una función predefinida o no, se pueden utilizar por las funciones de personalización del software SFT2841 según las necesidades específicas de la aplicación:
 - En la matriz de control, para asociar una entrada a una salida de relé o una señalización por indicador o mensaje en el visualizador.
 - En el editor de ecuaciones lógicas, como variable de una ecuación.
- La lógica de cada entrada se puede invertir para obtener un funcionamiento de falta de tensión.

Las siguientes tablas muestran las asignaciones de las salidas y entradas del MES 120:

Tabla 2.1 Asignación de salidas lógicas.

Funciones	S80	S81	S82	S84	T81	T82 T87	M87	M81 M88	G87	G82 G88	B80	B83	C86	Asignación
Disparo/control de contactor	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	O1
Enclavamiento del cierre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	O2 por defecto
Mando de cierre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	O3 por defecto
Perro de guardia	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	O5
Selectividad lógica, emisión EL 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	O102 por defecto
Selectividad lógica, emisión EL 2			■	■		■			■	■				O103 por defecto
Parada del grupo									■	■				Libre
Desactivación									■	■				Libre
Deslastrado							■	■						Libre
ATS, cierre de disyuntor NA	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
ATS, cierre de acoplamiento	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
ATS, apertura de acoplamiento	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Disparo paso (1 a 4)													■	Libre
Activación paso (1 a 4)													■	Libre

NOTA: Las salidas lógicas asignadas por defecto se pueden reasignar libremente.

Tabla 2.2 Asignación de entradas lógicas comunes a todas las aplicaciones.

Funciones	S80	S81	S82	S84	T81	T82 T87	M87	M81 M88	G87	G82 G88	B80	B83	C86	Asignación
Posición cerrado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	I101
Posición abierto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	I102
Sincronización del reloj interno del Sepam por paso externo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	I103
Basculamiento de los juegos de ajustes A/B	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Reset externo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Seccionador de tierra cerrado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Seccionador de tierra abierto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Disparo externo 1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Disparo externo 2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Disparo externo 3	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Posición fin de activación	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Prohibición TC	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Baja presión SF6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Enclavamiento de disparo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre

NOTA: El resto de las asignaciones de entradas lógicas, se encuentran en el Anexo 4.

2.2.3. Editor de ecuaciones lógicas

El software SFT2841 posee un editor de ecuaciones lógicas, el cual permite:

- Completar el tratamiento de las funciones de protección:
 - Enclavamiento adicional.
 - Inhibición/validación condicional de funciones.
 - Etc.
- Adaptar las funciones de control predefinidas: secuencia particular de control del interruptor automático o del reenganchador, etc.

La edición de ecuaciones lógicas es exclusiva de la utilización del software de programación Logipam.

Una ecuación lógica consiste en una agrupación lógica de datos de entrada procedentes:

- De las funciones de protección.
- De las entradas lógicas.
- De las órdenes de control local transmitidas por el IHM sinóptico.
- De los telemandos utilizando los operadores booleanos AND, OR, XOR, NOT y

las funciones de automatismo como temporizaciones, biestables y programador horario.

Las ecuaciones se introducen de forma asistida y con un control de sintaxis sistemático.

Posteriormente, el resultado de la ecuación se puede:

- Asignar a una salida lógica, a un visualizador o a un mensaje, a partir de la matriz de control.
- Transmitir a través de la comunicación como una nueva teleseñalización.
- Explotar con la función de mando disyuntor/contactador, para activar, cerrar o bloquear el aparato de corte.
- Utilizar para inhibir o rearmar una función de protección.

2.2.4. Funciones Lógicas

Una variable lógica es un símbolo que representa un ente o una cantidad. Por ejemplo, la variable B podría representar la presencia de Bernardo B y tiene dos valores: verdadero o falso.

Si Bernardo está presente, B es verdadero.

Si Bernardo está ausente, B es falso.

Nótese que Bernardo no es la variable; B es la variable que representa la persona llamada Bernardo.

El algebra de Boole⁸ se usa para manipular variables lógicas. Una variable lógica es completamente falsa o completamente verdadera. Los valores intermedios no son permitidos. Cuando una variable no es falsa, por obligación debe ser verdadera y también a la inversa. El Algebra de Boole se adapta idealmente a las variables que tienen dos estados o valores, tales como: SI o NO, o verdadero y falso. También se usa para un sistema numérico que tenga dos dígitos, tal como el sistema binario (0,1).

Un interruptor es ideal para representar el valor de cualquier variable de dos estados, porque puede estar abierto o cerrado, como se muestra en la figura 2.10. Cuando éste está

⁸ Es una estructura algebraica que rigorizan las operaciones lógicas Y, O y NO, así como el conjunto de operaciones unión, intersección y complemento. Se denomina así en honor a George Boole, fue el primero en definirla como parte de un sistema lógico.

en posición cerrado, indica que Bernardo está presente (B verdadero). Cuando está en posición abierto, representa la ausencia de Bernardo (B es falso).

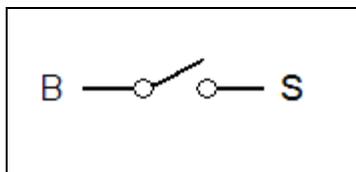


Fig. 2.10 Símbolo interruptor B.

Es obvio que el interruptor cerrado también podría representar valores como: verdadero, Sí, Uno, Alto, Conducción, etc. Y que el interruptor abierto podría representar valores como: Falso, No, Cero, Bajo, Corte.

2.2.4.1. Función AND “Y”

La función AND representa la conjunción de varias condiciones simbolizadas por sus respectivas variables.

Si se hace una analogía con un grupo formado por Roberto, Carlos y Pedro, esto se simboliza por la siguiente relación:

$$A = R \cdot C \cdot P \quad (R \text{ AND } C \text{ AND } P)$$

Nótese que los símbolos de los nombres están agrupados por la conjunción AND. Esto significa que $A=1$ representa la presencia de Roberto, Carlos y Pedro (todos simultáneamente).

A es verdadero (grupo presente) cuando R es verdadero (Roberto presente), y C es verdadero (Carlos presente) y P es verdadero (Pedro presente).

A no es verdadero si uno o más de los miembros están ausentes.

COMPUERTA LOGICA AND “Y”

Es un circuito digital con dos o más entradas y una sola salida que adopta el valor, si y solo si todas las entradas adoptan el valor verdadero.

2.2.4.2. Función OR “O”

Dado un conjunto de variables unidas por la operación lógica OR y que constituyen una función booleana Y, la función será verdadera si una o más de las variables es verdadera; esto es, la función OR es inclusiva.

Por ejemplo, si los miembros a ser representados por sus respectivas variables lógicas son Miguel, Luis y Francisco y constituyen el grupo representado por la función Y; entonces esta condición se puede escribir simbólicamente como,

$$Y = M + L + F \quad (M \text{ OR } L \text{ OR } F)$$

El grupo no estará representado (FALSO) cuando todos los miembros estén ausentes.

COMPUERTA LOGICA OR “O”

Es un circuito con dos o más entradas y una sola salida, la cual tendrá el valor verdadero cuando una o más entradas sean verdaderas.

2.2.4.3. Función NOT

Esta función se produce mediante la inversión de una variable. Dada una variable N, la inversión o negación de esta se indica por una barra sobre la variable o por una comilla.

$$Y = \bar{A}$$

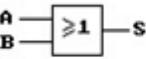
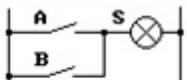
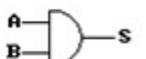
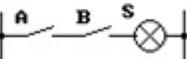
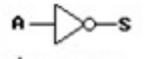
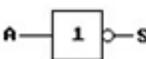
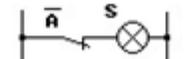
El circuito lógico que produce la función NOT se llama inversor; éste convierte el estado o valor de la variable a su complemento.

COMPUERTA LOGICA INVERSORA “NOT”

Es un circuito que tiene una sola entrada y una sola salida; la salida adopta el valor negado de la entrada.

La siguiente tabla muestra las compuertas lógicas con sus respectivos símbolos:

Tabla 2.3 Compuertas lógicas con respectivos símbolos, ecuaciones y tabla de verdad.

Función	Nombre	Ecuación lógica	Símbolos			Tabla de verdad															
			Norma MIL	Norma IEC	Circuito físico con contactos																
OR	Disyunción	$S = A+B$				<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
A	B	S																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	1																			
AND	Conjunción	$S = A \cdot B$				<table border="1"> <tr><th>A</th><th>B</th><th>S</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
A	B	S																			
0	0	0																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	1																			
NOT	Negación	$S = \bar{A}$	 inversor			<table border="1"> <tr><th>A</th><th>S</th></tr> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	S	0	1	1	0									
A	S																				
0	1																				
1	0																				

NOTA: En el Anexo 6 se encuentran más compuertas lógicas”

Como se explicó anteriormente, el SEPAM serie 80, posee dieciséis tipos de protecciones que son: subestación (S80, S81, S82 y S84), transformador (T81, T82 y T87), generador (G82, G87 y G88), motor (M81, M87 y M88), barras (B80 y B83) y por último el tipo condensador (C86). Se estudiarán las aplicaciones de condensador que posee el SEPAM, (se debe hacer referencia a la NOTA expuesta en *memoria extraíble*).

2.2.5. Aplicaciones de condensador.

2.2.5.1. Protección de una banco de condensadores.

- Esta aplicación realiza la protección contra cortocircuitos.
- Realiza la supervisión de tensiones y de frecuencia.
- Realiza un protección específica contra las sobrecargas, con adaptación automática al número de pasos en servicio

La siguiente imagen muestra la protección del SEPAM a una batería de condensadores conectada en triángulo:

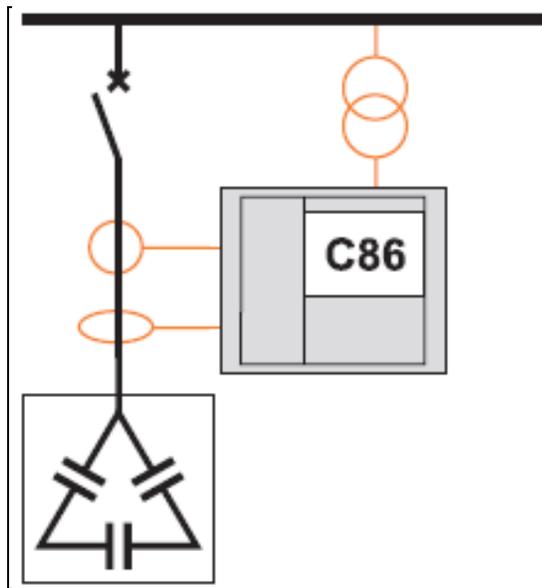


Fig. 2.11 Protección a batería conectada en triángulo.

2.2.5.2. Protección de una banco de condensadores de 1 a 4 pasos en Estrella Doble.

- Esta aplicación es una protección específica contra los desequilibrios: 51C.

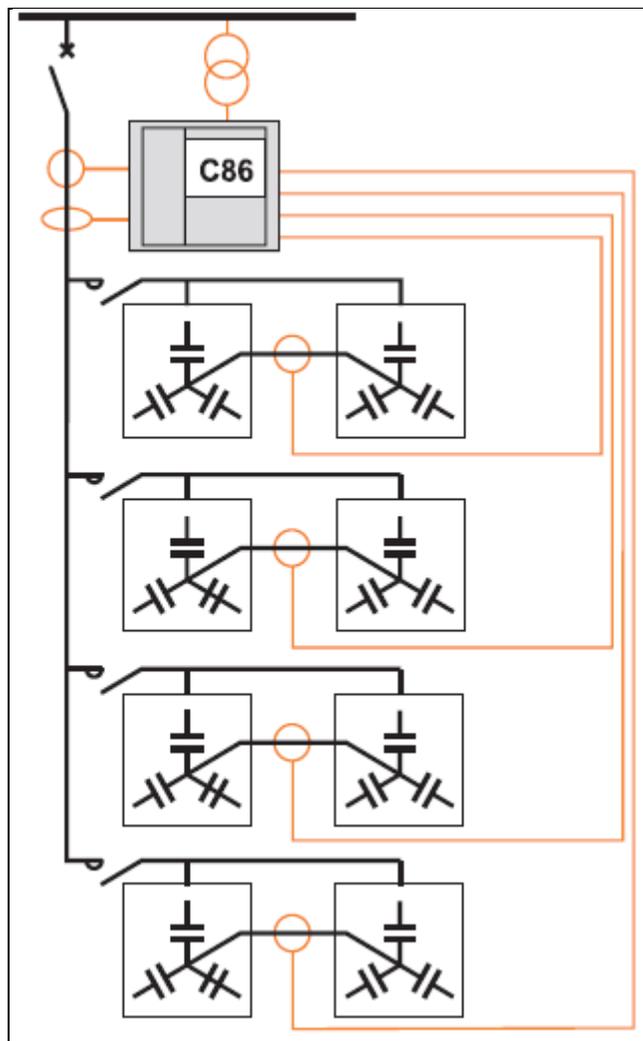


Fig. 2.12 Protección a batería de 4 pasos en estrella doble.

La siguiente tabla muestra todas las protecciones que se pueden obtener insertando la memoria de aplicación C86:

Tabla 2.4 Aplicaciones de protección de la memoria C86.

Tabla de elección		
Protecciones	Código ANSI	C86
Máxima intensidad de fase (1)	50/51	8
Máxima corriente de tierra/ Tierra sensible (1)	50N/51N 50G/51G	8
Fallo del disyuntor	50BF	1
Máximo de componente inversa	46	2
Imagen térmica del condensador	49RMS	2
Desequilibrio gradual de condensadores	51C	8
Mínima tensión directa	27D	2
Mínima tensión remanente	27R	2
Mínima tensión (L-L o L-N)	27	4
Máxima tensión (L-L o L-N)	59	4
Máxima tensión residual	59N	2
Máximo de tensión inversa	47	2
Máxima frecuencia	81H	2
Mínima frecuencia	81L	4
Supervisión de temperatura (16 sondas) (2)	38/49T	□

Nótese que las cifras que se encuentran en la columna “C86” indican el número de unidades disponibles para cada función de protección y los siguientes símbolos representan:

- Estándar.

- Opcional.

(1) Función de protección con dos juegos de ajustes.

(2) Con módulos opcionales de entrada de temperatura MET148-2.

CAPITULO III

DESARROLLO DEL PROBLEMA

PLANTEADO.

3. DESARROLLO DEL PROBLEMA PLANTEADO

3.1. ACONDICIONAMIENTO DEL MODULO DE APRENDIZAJE.

Como se explica anteriormente en el planteamiento del problema (en la pagina 1 del seminario), en la Universidad del Bio-Bio se dispone de un regulador de potencia reactiva con microprocesador (el cual tiene instalado 6 bancos de condensadores, un banco de 2 kVAr y cinco bancos de 4 kVAr) instalado en un tablero, el cual carece de protección eléctrica, por lo tanto se debe conectar un dispositivo de protección (SEPAM serie 80) a los bancos de condensadores que manipula el regulador de potencia reactiva, en este caso el dispositivo de protección se ha instalado en el mismo tablero del regulador. Por lo tanto se han realizado cortes a la puerta del mismo, cambiando así de posición el regulador, el que se encontraba en el centro de la puerta del tablero, encontrándose en este momento en la parte superior de la misma, y la protección ubicándose en la posición original del regulador (los cortes efectuados a la puerta son de las dimensiones sugeridas por el fabricante para su empotrado), otras modificaciones que ha sufrido el tablero, son perforaciones varias, para la instalación de transformadores de medida, la instalación de una tarjeta electrónica (más adelante se hará referencia a ésta), la instalación de luces pilotos y el empotrado del mismo tablero.

En las siguientes figuras se puede apreciar el cambio que sufrió el modulo de aprendizaje:



Fig. 3.1 Modulo aprendizaje regulador de potencia reactiva.



Fig. 3.2 Modulo acondicionado con protección SEPAM serie 80.

3.2. INTERFASE DE COMUNICACIÓN ENTRE REGULADOR DE POTENCIA Y SEPAM SERIE 80.

El sistema regulador del factor de potencia es controlado por un microprocesador de manera autónoma. Su programación y las señales de control son comandadas por el software del controlador previo ajuste del operador.

El sistema de protección que se diseña, también es autónomo tanto en hardware como software. Las únicas relaciones que se programan e implementan son dos: la primera y más importante, consiste en el rescate de la función de operación del regulador del factor de potencia, que consiste en la señal de alimentación para la activación de los bancos de condensadores, que se conectan por medio de contactores, y segunda la señal de activación del relé SEPAM, para apertura y desconexión del banco de condensadores, causada por una sobrecarga de corriente, o falla del sistema de control de los condensadores. Para lograr la comunicación entre el regulador de potencia reactiva y el SEPAM serie 80, es necesario diseñar una tarjeta electrónica para este fin, debido a que las salidas del regulador de potencia reactiva son a 220Vac, y la tensión de las entradas al MES120 son entre 24Vcc y 250Vcc, por lo tanto para mantener totalmente aisladas las dos tensiones y así evitar el deterioro y quema de dispositivos, es necesario utilizar un dispositivo llamado Optoacoplador (6N136, para ver más características de este componente ver Anexo 6), junto a éste, una serie de componentes electrónicos como resistencias, condensadores y diodos. La tarjeta se diseñó de tal manera, que los seis bancos de condensadores del Regulador formen 3 grupos de dos bancos los cuales se encuentran en la siguiente disposición: (C1 y C4), (C2 y C5), (C3 y C6); por lo tanto en la salida de cada 6N136 se conecta una compuerta “OR” para dar una señal “1” (24Vcc en la salida) cuando cualquiera de los condensadores del grupo esté conectado (la cual es diseñada por medio de dos diodos conectados en paralelo).

En las siguientes figuras se puede apreciar el circuito implementado en la tarjeta, la tarjeta diseñada con las pistas y la tarjeta físicamente:

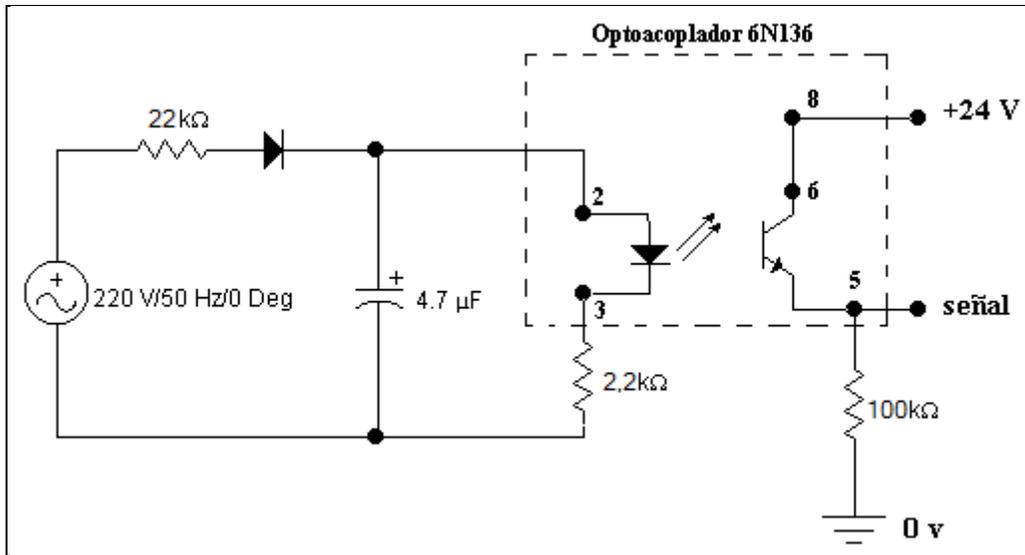


Fig. 3.3 Circuito de conexión del optoacoplador para señal a 24 Vcc.

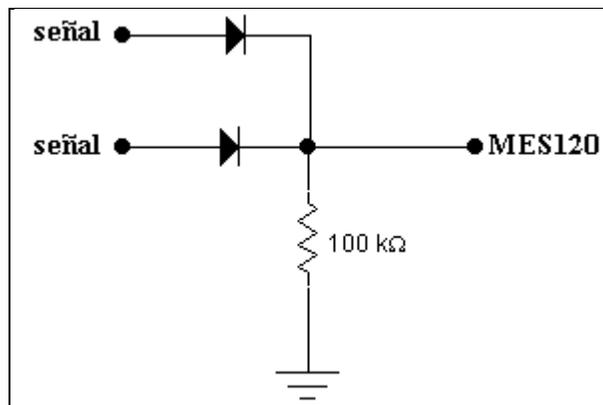


Fig. 3.4 Compuerta OR.

En la señal de ingreso a la tarjeta de interface, cabe destacar que la fuente de 220 Vac representa las bobinas de los contactores o bien la salida del Regulador de Potencia Reactiva, el circuito de la figura 3.3 se repetirá 6 veces, mientras que el circuito de la figura 3.4 sólo se repetirá 3 veces, los números más pequeños que acompañan al diodo y al transistor (en la figura 3.3), son los pines de conexión del optoacoplador.

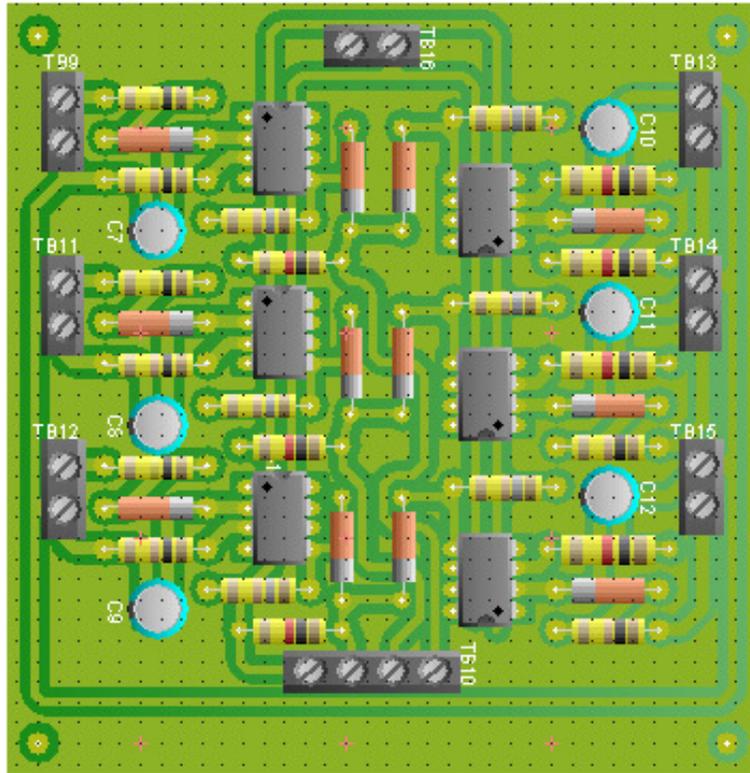


Fig. 3.5 Tarjeta electrónica con pistas.

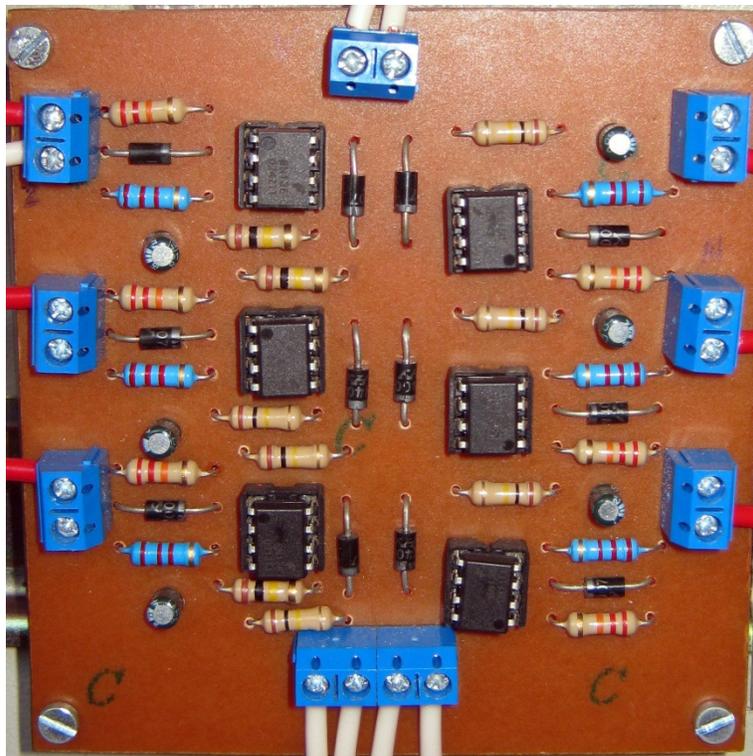


Fig. 3.6 Tarjeta electrónica.

Los dispositivos que se encuentran en la tarjeta son los siguientes:

- 6 Optoaclopadores 6N136.
- 12 Diodos 1N4007 1000 V.
- 21 Resistencias de $\frac{1}{2}$ Watt; 6 de 22k Ω ; 6 de 2.2k Ω ; 9 de 100k Ω .
- 6 Condensadores: 4.7 μ F, 250 V.
- 6 zócalos de 8 pines.
- 9 Regletas de 2 puntos.

3.3. PARAMETRIZACION DEL EQUIPO SEPAM SERIE 80.

Lo primero que se debe realizar para la parametrización del relé, es la instalación del software en el PC. Esto debe realizarse a través del CD que viene junto al equipo SEPAM serie 80. El software que se utilizará es el SFT2841.

El equipo también posee otro software que es para el restablecimiento de los registros de osciloperturbografía (SFT2826), que viene incluido en el CD. También existe el software SFT2885 de programación Logipam, el cual no se encuentra disponible.

El software SFT2841 tiene la configuración típica de un programa para el sistema operativo Windows, por lo que hace aun más fácil su manejo.

3.3.1. Pasos para la parametrización del SEPAM serie 80

Para iniciar el software de parametrización del equipo, se debe hacer doble clic en el acceso del escritorio de PC que se creó en el momento de instalar el programa. Una vez hecho este paso, aparece en pantalla la siguiente ventana (ver figura 3.7), donde se configura el idioma (ver figura 3.7(a)) que se estime conveniente y además permite crear (ver figura 3.7 (b)) un archivo nuevo de Parametrización o bien abrir (ver figura 3.7(c)) un archivo que ya había sido parametrizado con anterioridad.



Fig. 3.7. Ventana de inicio del software SFT 2841; (a) elección de idioma; (b) abrir archivo; (c) crear archivo.

En la literatura del fabricante del equipo se menciona la palabra “parametraje”. Este término se empleará tal cual. Se refiere al ajuste del relé para las condiciones de aplicación específica del equipo.

En primer lugar se debe adecuar el hardware del relé SEPAM, que consiste en agregar un módulo MES 120 de entradas/salidas (ver figura 3.8), con el objeto de que la tarjeta de comunicación diseñada, envíe una señal de entrada, la que indique que grupo de condensadores está en servicio o no, por lo tanto en la pestaña “características generales” se debe realizar un cambio con respecto al grupo activo, ya que predefinido por el fabricante viene activo el grupo A, pero en este caso se debe realizar elección por entradas lógicas (ver figura 3.9).

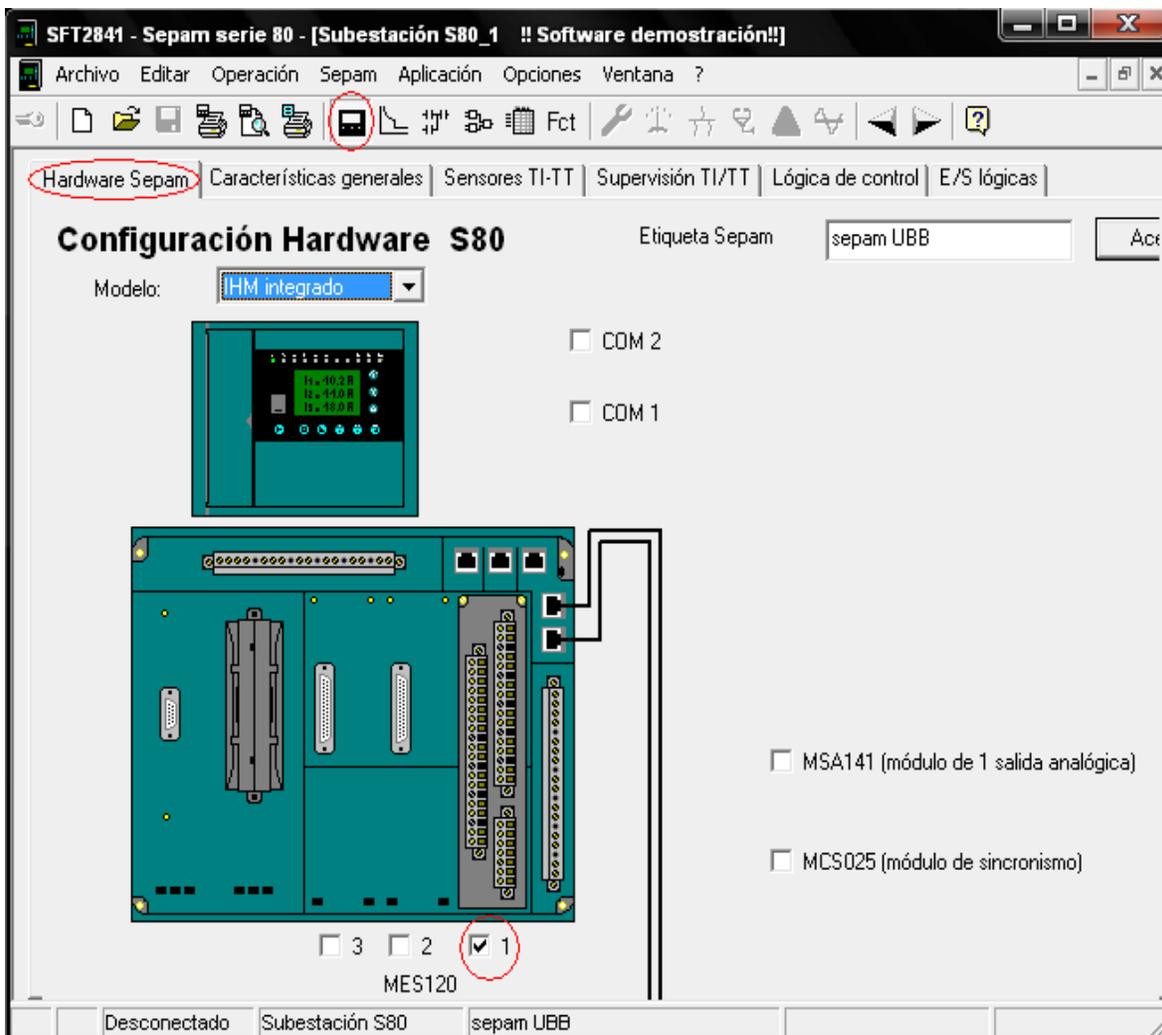


Fig. 3.8 Instalación del MES120 al ajuste.

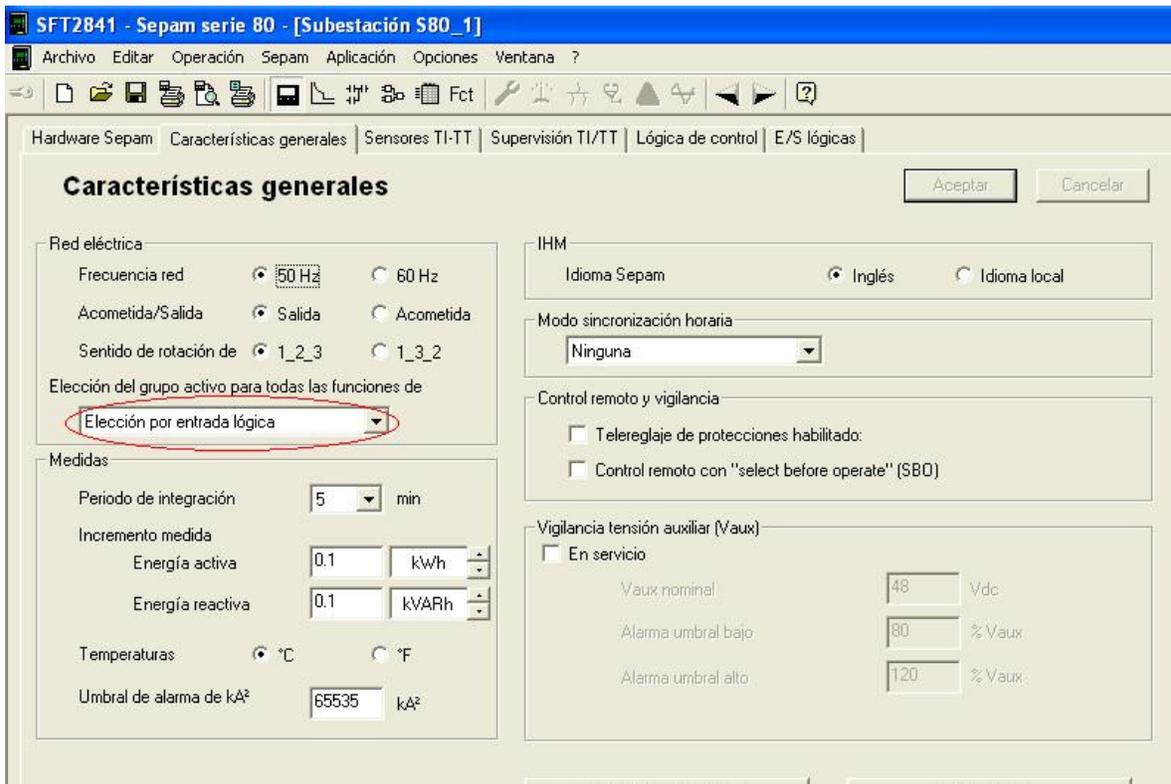


Fig. 3.9 Elección del grupo activo.

Luego se debe realizar la asignación de las entradas y salidas del MES120; en este caso las asignaciones son las siguientes:

I113: a esta entrada se le asigna el basculamiento de las curvas (“juego ajustes A/B”), lo que quiere decir, que ésta dará la señal de grupo activo, dependiendo si el paso diferente esta o no activo (2kVAr), por lo tanto si I113 = 0, grupo A, si I113 = 1, grupo B.

I105: a esta entrada se le asigna “otra utilización”, debido a que el uso que se le dio es de activación de paso, y esa función no se encuentra para escoger.

I106: a esta entrada se le asigna “otra utilización”, al igual que la entrada I105, por las mismas razones.

O1: a esta salida se la asignó el parámetro NA, lo que quiere decir que esta normalmente abierto y en caso de falla se produce el cierre, por lo tanto la función de esta salida es el disparo o aviso de falla, normalmente esa salida ocasiona la desconexión de la carga inmediatamente en este caso la activación de luz piloto roja.

O2: a esta salida se la asignó el parámetro NC, lo que quiere decir que esta normalmente cerrado en funcionamiento normal y en caso de falla se produce la apertura de este, en este caso esta salida activa una luz piloto verde indicando el buen funcionamiento del sistema.

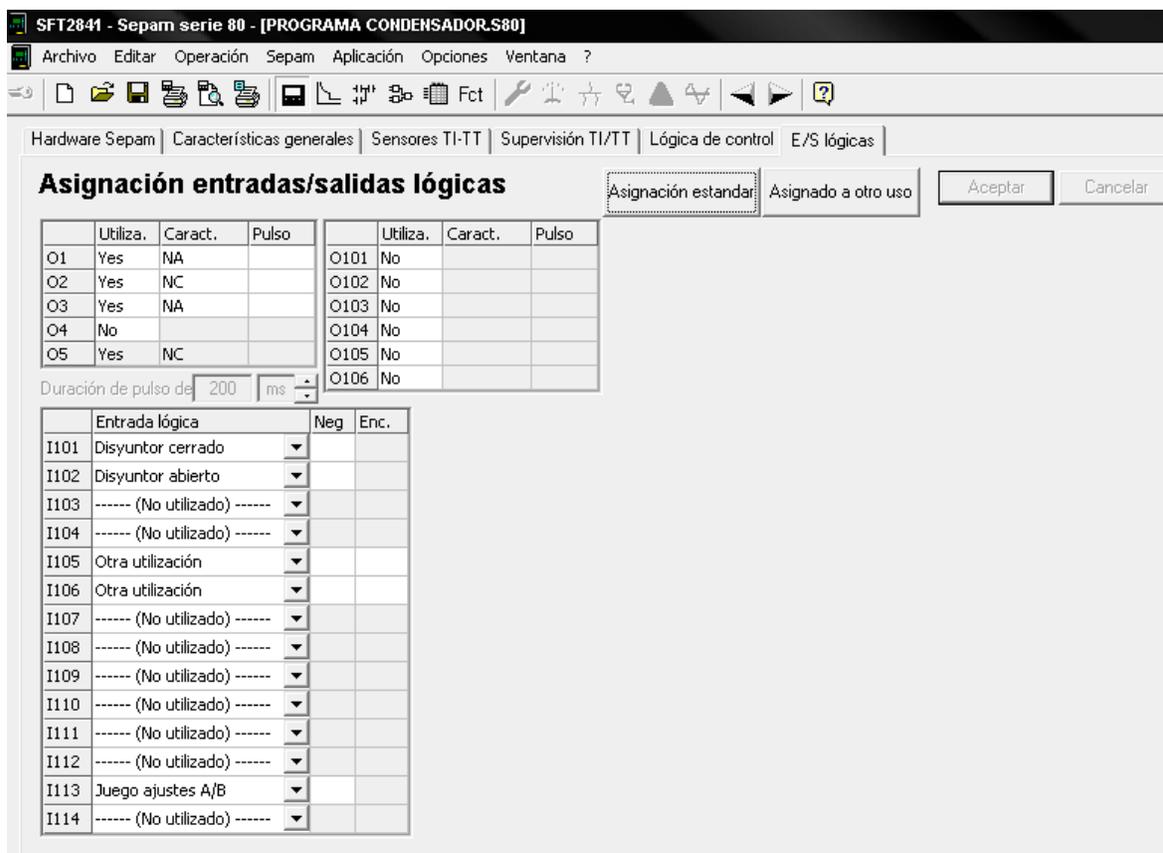


Fig. 3.10 Asignación de entradas y salidas.

Como se puede apreciar en la figura 3.10, hay entradas que vienen con asignación predefinidas, como son las entradas I101 e I102, a pesar de ello a éstas también se les puede dar una asignación diferente a la predefinida.

Luego se debe realizar el cálculo matemático de la corriente nominal de los bancos de condensadores. Luego como se conoce que para el TI utilizado en las aplicaciones (TI 5 [A]), el rango de umbral debe ser mayor que 0,25 y menor que 120, se procede a buscar el rango de soluciones que debe tener el transformador de medida de los bancos de condensadores.

Datos:

Tabla 3.1 Valores de tensión, potencia kVAr y respectivas corrientes nominales.

Tensión Nominal [V]	Pasos con 3 GRUPOS [kVAr]	Corriente nominal [A]
380	6	9,116
380	8	12,155
380	14	21,271
380	16	24,309
380	22	33,426

NOTA: Las celdas que se encuentran marcadas contienen el valor de la potencia reactiva cuando el paso de 2 kVAr se encuentra conectado, para conocer todas las combinaciones posibles de la conexión de pasos ver Anexo 7.

En la tabla anterior se pueden apreciar las corrientes nominales cuando los pasos se encuentran conectados, en este caso se debe considerar la mínima corriente como umbral mínimo y la máxima corriente como umbral máximo, esto ocurra cuando se encuentran conectados 6 kVAr (umbral mínimo) y 22 kVAr (umbral máximo).

Es necesario resolver las siguientes inecuaciones para encontrar la solución del problema:

$$0.25 [A] \leq I_{UMBRAL\ MINIMO}$$

$$120 [A] \geq I_{UMBRAL\ MAXIMO}$$

Por lo que se tienen las siguientes inecuaciones

$$0.25 \leq \frac{K \cdot I_{MINIMA}}{X} \quad \wedge \quad 120 \geq \frac{K \cdot I_{MAXIMA}}{X}$$

Donde:

K/X : Razón de transformación de los TC.

K : puede ser 1 ó 5 [A], en este caso será 5 [A].

X : factor que varía de 1 a 6250.

Por lo que se tiene los siguientes resultados:

Paso 1: umbral mínimo

$$0.25 \leq \frac{5 \cdot 9.116}{X} \rightarrow I_{MINIMO}$$

$$0 \leq \frac{45.58 - 0.25 \cdot X}{X}$$

$$\therefore 45.58 - 0.25 \cdot X = 0 \rightarrow X = \frac{45.58}{0.25} = 182.32[A]$$

Por lo que entrega el siguiente rango de soluciones:

\therefore solución: $]0 ; 182.32]$

Paso 2: umbral máximo

$$120 \geq \frac{5 \cdot 33.426}{X} \rightarrow I_{MAXIMO}$$

$$0 \geq \frac{167.13 - 120 \cdot X}{X}$$

$$\therefore 167.13 - 120 \cdot X = 0 \rightarrow X = \frac{167.13}{120} = 1.392[A]$$

Con estos datos se tiene el siguiente conjunto de soluciones.

\therefore solución: $[1.392 ; \infty[$

Al interceptar las soluciones del paso 1 y 2, se tiene el siguiente conjunto de soluciones posibles para la razón de transformación del transformador.

∴ solución [1.392 ; 182.32]

Esto significa que el transformador a elegir debe estar dentro de este rango, o de lo contrario el software no aceptará la medida como válida.

En este caso se utiliza como solución el valor 50 A (ya que son los transformadores de corriente que se encuentran disponibles en bodega, ver figura 1 del Anexo 7), por lo tanto los transformadores de medida que se deben utilizar para la protección del banco de condensadores son de razón 5/50.

Teniendo calculado el rango de los transformadores, se procede a ingresar el valor de los transformadores escogidos (ver figura 3.11).

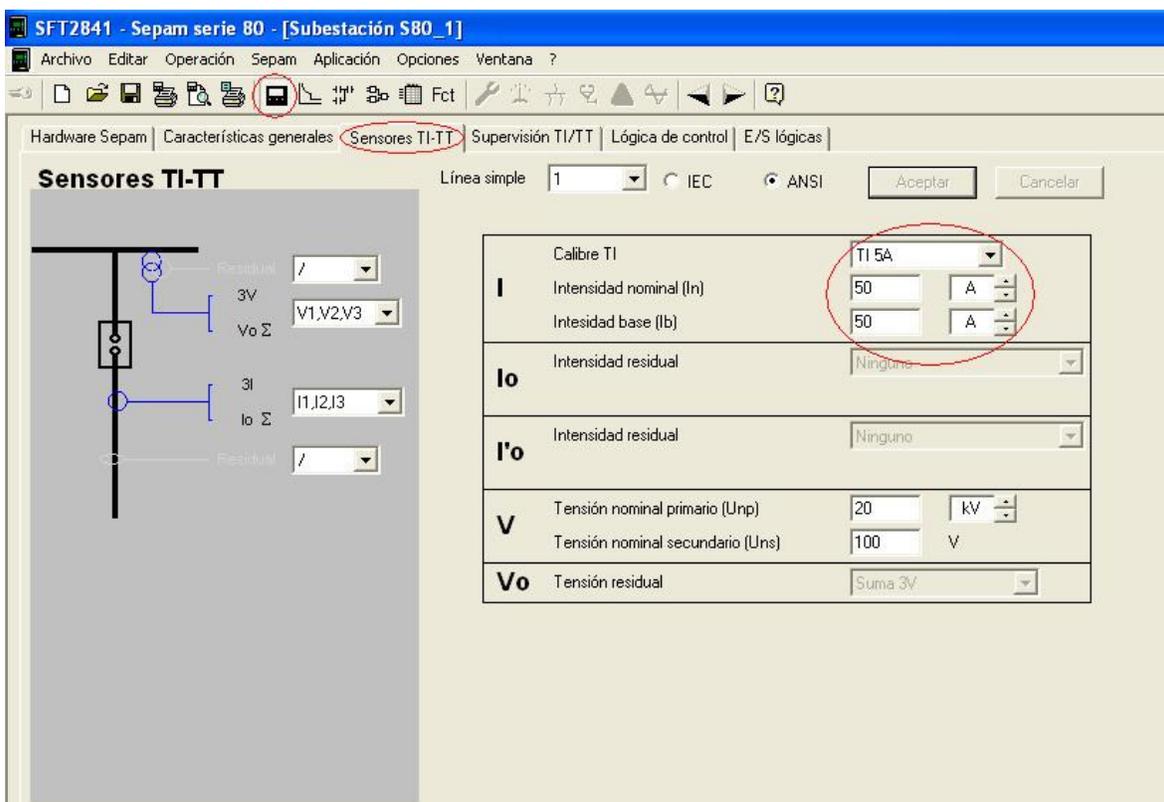


Fig. 3.11 Ingreso de datos de corriente nominal del transformador de medida.

Teniendo ingresado los datos de corriente nominal de los transformadores de medida, se procede a parametrizar lo que son las unidades de protección tomando en cuenta las corrientes nominales de la Tabla 6, como lo muestra la figura 3.12.

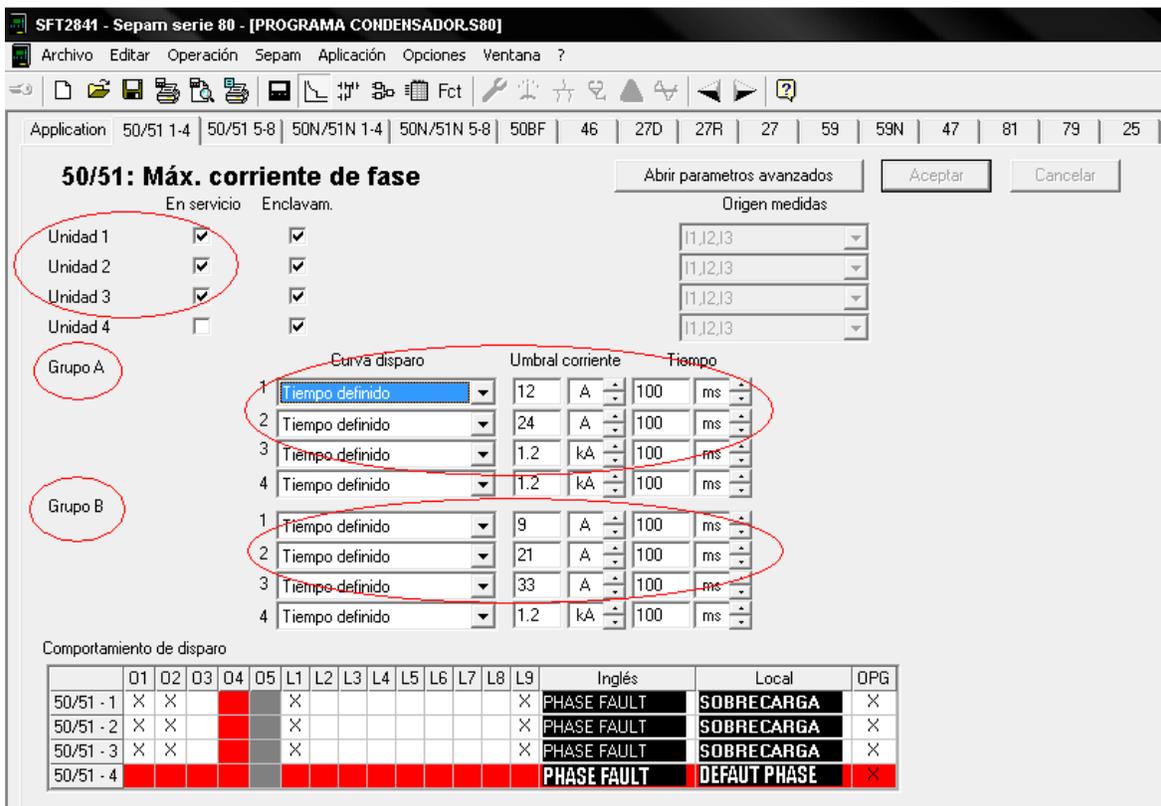


Fig. 3.12 Parametrización de las unidades de protección.

La parametrización se realiza de tal manera que al ir conectándose los pasos se produzca una falla simulada, para así comprobar el seteo del SEPAM y las ecuaciones lógicas (más adelante se hablara de ello), como se aprecia en la figura 3.12 se encuentran activadas tres unidades de protección y los dos grupos.

Una vez realizados los pasos anteriores se debe ir al icono de ecuaciones lógicas, que despliega una ventana (ver figura 3.13):

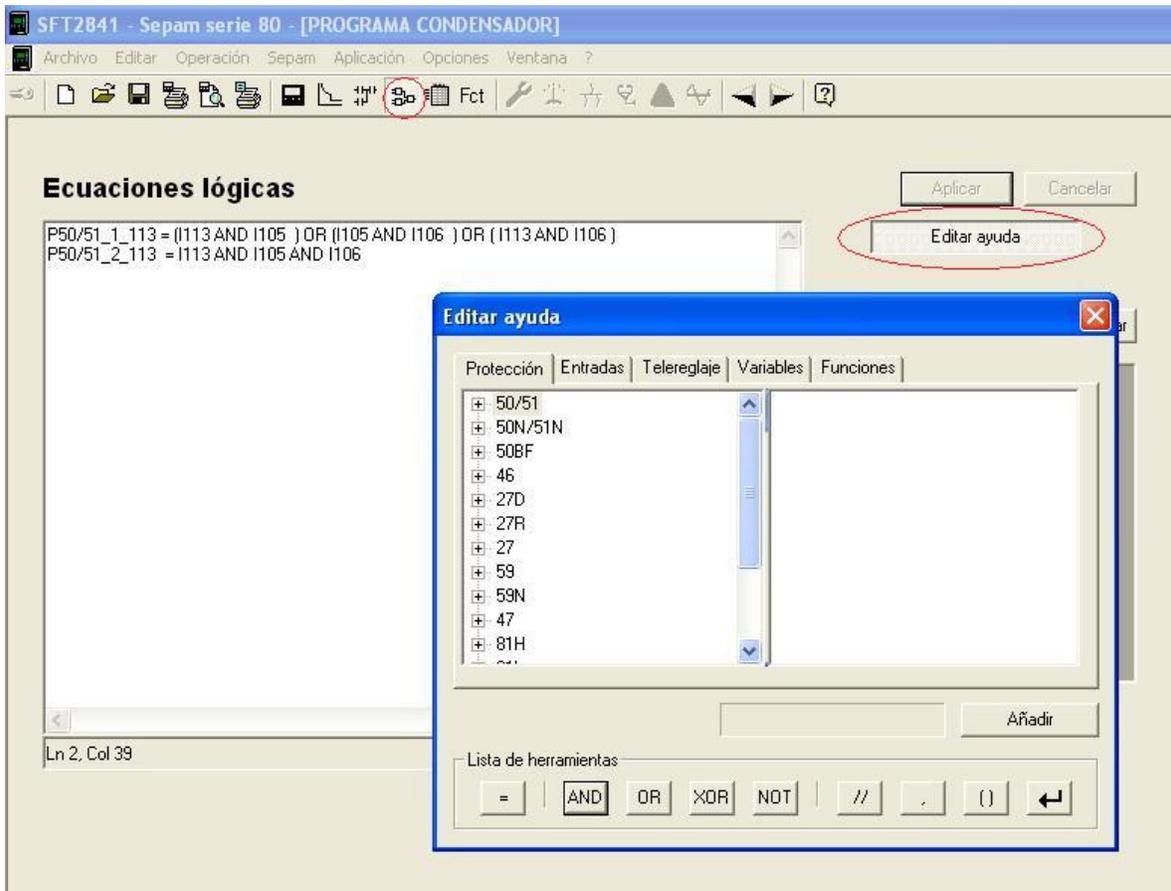


Fig. 3.13 “Editor de ecuaciones lógicas”

Si se conoce la lógica de programación se puede ingresar directamente la ecuación, si no, se puede ir a “editar ayuda”, para ingresar las ecuaciones; esta ventana contiene pestañas que muestran los tipos de protección que se pueden realizar y modificar mediante las ecuaciones lógicas. Entradas que se encuentran activadas con alguna función, Telereglaje, Variables, Funciones.

A continuación se muestran las ecuaciones que se utilizaron.

$$P50/51_1_113 = (I113 \text{ AND } I105) \text{ OR } (I105 \text{ AND } I106) \text{ OR } (I113 \text{ AND } I106)$$

$$P50/51_2_113 = I113 \text{ AND } I105 \text{ AND } I106$$

- La ecuación #1 inhibe la curva 1 (unidad 1).
- La ecuación #2 inhibe la curva 2 (unidad 2).

3.3.2. Simulación de Fallas.

El diagrama de bloque del sistema Regulador – SEPAM es el siguiente:

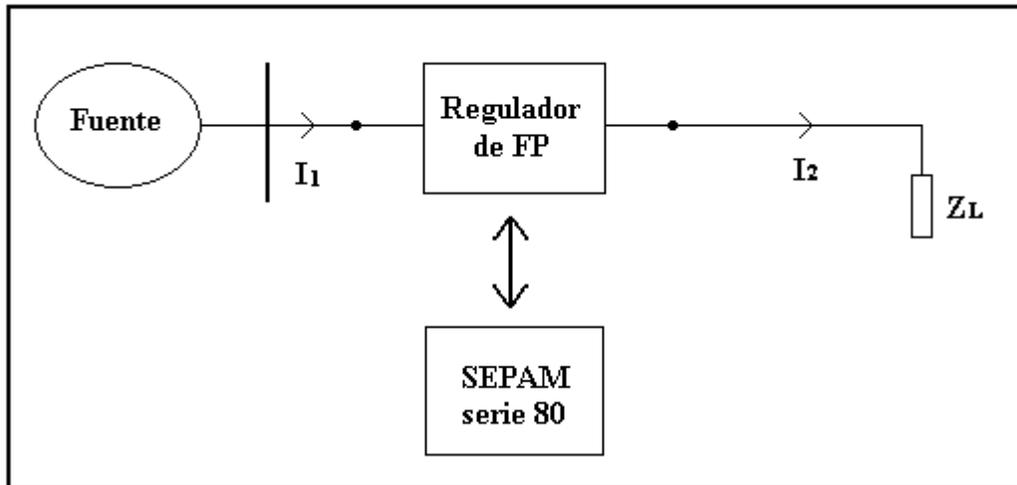


Fig. 3.14 Diagrama de bloque del sistema.

El relé no protege la carga Z_L contra sobrecarga, sino que controla la magnitud de corriente que genera el regulador de factor de potencia, cuando este controla el reactivo de Z_L para que la fuente de energía tenga un factor de potencia dentro de los límites de las normativas, por ello la simulación de fallas se puede realizar a través de cualquier tipo de carga que requiera potencia reactiva, en este caso se utilizan unas cajas con reactancias inductivas (las cuales se encuentran en los laboratorios de la Universidad) conectadas en estrella con neutro a tierra, las cuales son regulables; el objetivo de esta simulación es el correcto funcionamiento de las ecuaciones lógicas, lo que quiere decir que se produzca la inhibición de las curvas, y el basculamiento de las mismas al conectarse el banco de diferente potencia reactiva.

La siguiente figura muestra las alarmas (en el Anexo 8 se puede apreciar el historial de alarmas) accionadas en la simulación, con la respectiva fecha, hora, unidad, grupo, mensaje (este puede estar personalizado en un idioma local) e información de la falla:

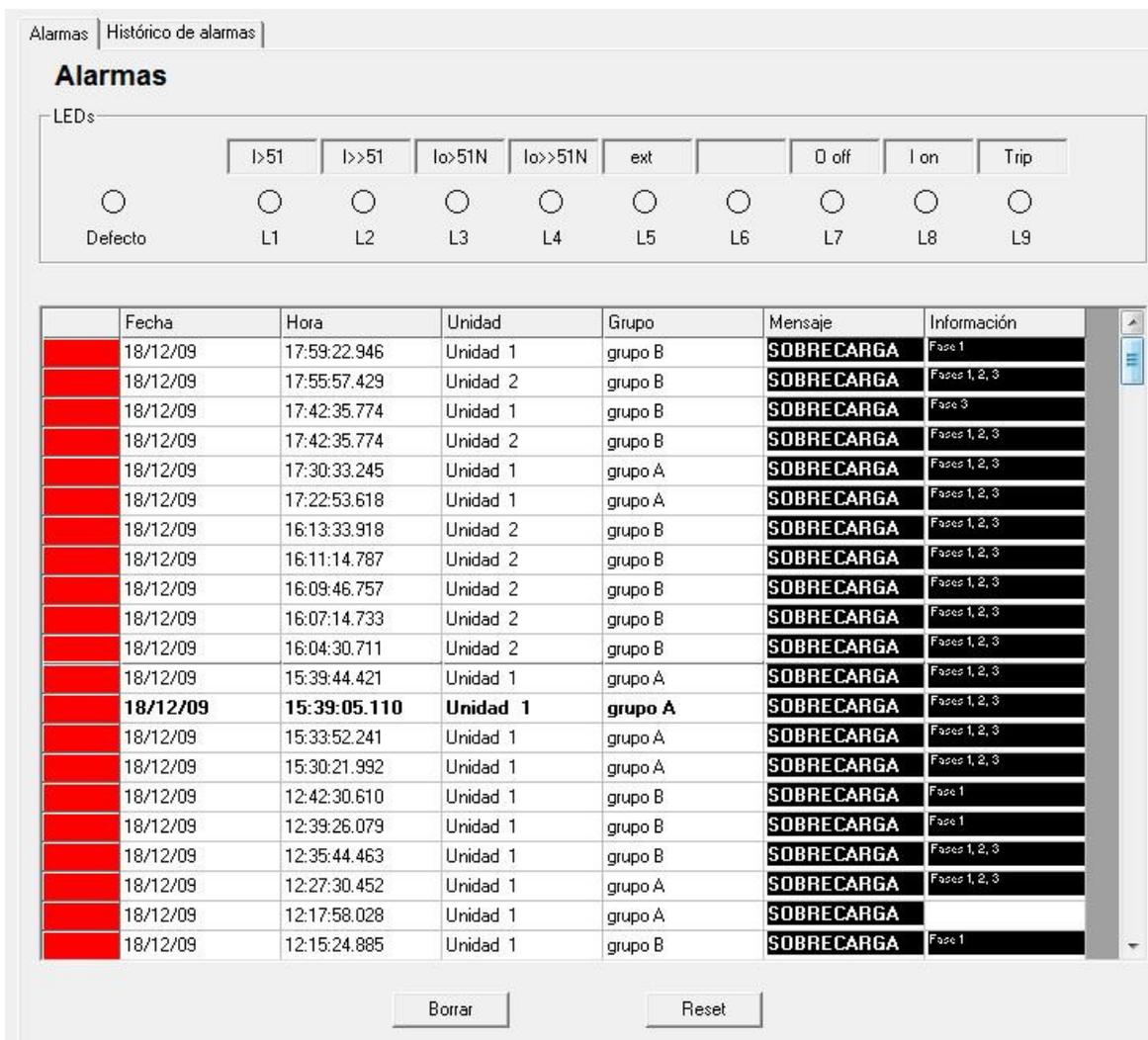


Fig. 3.15 “Alarmas de las Fallas”

3.3.3. Osciloperturbografía

Al realizar la simulación de fallas es posible grabar lo sucedido con las corrientes y las tensiones al momento de la falla, mediante la función de osciloperturbografía que posee el software SFT2841, y también es posible visualizar el comportamiento de las curvas de corriente, tensión, las entradas y las salidas, mediante el software SFT2826.

En las siguientes figuras se puede apreciar lo anteriormente expuesto:

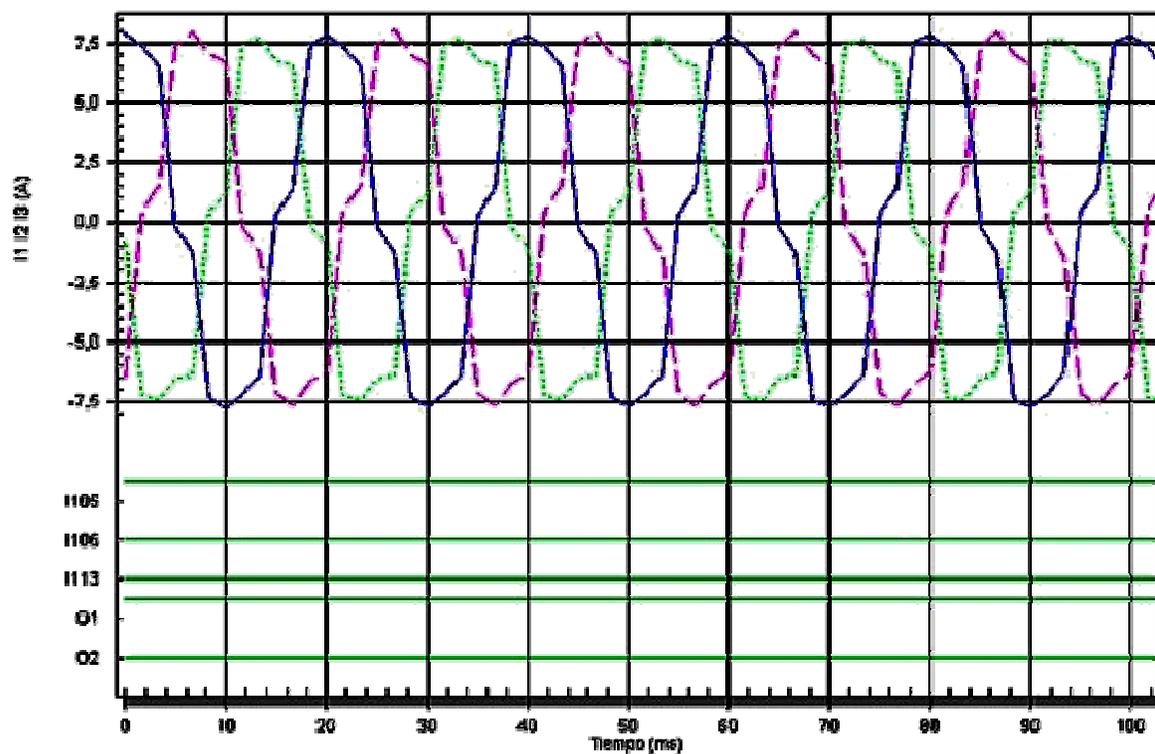


Fig. 3.16 “Grafica de la Osciloperturbografía”

En la figura anterior se pueden apreciar las corrientes (en este caso las tres corriente, las tres entradas I105, I106, I113 y las dos salidas O1, O2, para fin de mostrar en su magnitud la osciloperturbografía) que circulan por el circuito del banco de condensadores, la activación de la entrada I105 y luego cuando se detecta una falla la activación de la salida O1 que anteriormente se le asigno la función de disparo. Para ver más detalles de la osciloperturbografía ver Anexo 8.

3.4. DISEÑO DE LAS EXPERIENCIAS DE LABORATORIO.

Se diseñan dos experiencias de laboratorio, con el fin de estructurar una serie sistemática de tareas que consideren la capacidad técnicas del relé SEPAM serie 80, para la protección de un banco de condensadores. Cada una de las experiencias tiene una estructura y diseño que respeta las normativas empleadas actualmente por el departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío.

Las experiencias diseñadas son las siguientes:

- Experiencia N° 1: Reconocimiento del hardware del SEPAM serie 80 y Periféricos.
- Experiencia N° 2: Parametrización del SEPAM serie 80 para una aplicación de control de un regulador de potencia reactiva con microprocesador.

Junto con el diseño de las guías, se consideró la creación de tutoriales en videos digitales para la parametrización del SEPAM, y la puesta en marcha de las cargas, empleando el software CAMTASIA STUDIO y WINDOWS MOVIE MARKER. Estos tutoriales de apoyo, facilitan la realización de las experiencias y disminuyen el tiempo de comprensión de la información.

Los tutoriales se apoyan en la amplia literatura técnica que Schneider-Electric proporciona para el SEPAM serie 80, y en el trabajo previo realizado en el laboratorio. El objetivo de los tutoriales no es reproducir este material, sino seleccionarlo para tener una mejor aplicación de este equipo, por los estudiantes que emplearán los sistemas desarrollados y el relé instalado.

Experiencia No. 1 de laboratorio

Con la primera experiencia de laboratorio se pretende conocer el hardware del equipo SEPAM serie 80, el regulador de potencia reactiva con microprocesador y los periféricos asociados el correcto funcionamiento de ambos dispositivos. Sabiendo que éste es un tema fundamental al momento de poner en funcionamiento el relé y el regulador de potencia reactiva con microprocesador. Los objetivos que se pretenden respecto a esta primera experiencia son los siguientes:

- Conocer las estructuras, regulador de potencia reactiva con microprocesador, componente de la interface hombre máquina (IHM), disposición de terminales del Hardware del relé SEPAM serie 80, tarjeta de comunicación entre regulador de potencia reactiva y MES120
- Conocer la información técnica y contenido de ambos dispositivos.
- Ubicar y ajustar las tensiones auxiliares necesarias para poner en servicio el relé.

En el capítulo II se dio a conocer las características de ambos dispositivos, SEPAM serie 80 y regulador de potencia reactiva con microprocesador modelo PR2D, es preciso mencionar que la empresa Schneider-Electric posee una gama de equipos SEPAM multifuncional, de tres series distintas; serie 20, serie 40 y la serie 80, por lo que cada equipo tiene una disposición de su hardware distinto. Cabe destacar que DNA también posee una gama de equipos reguladores de potencia reactiva, los cuales van desde los de regulación manual hasta los de regulación automática con microprocesador (PR2D).

Otro componente importante que se debe conocer en esta experiencia es lo que al cartucho de memoria extraíble se refiere, el cual es el alma del equipo ya que como se menciona en el Capítulo 2 es en esta unidad donde se diferencia una aplicación de la otra. El relé SEPAM consta de 16 aplicaciones, por lo que para cada una se necesita cartuchos distintos, esto no significa que el equipo al tener un cartucho de una aplicación determinada no se pueda ocupar para cualquiera de las otras 15 aplicaciones restante, pero si quedaran desactivas unidades de protección específicas que traen los cartuchos de memoria especiales para cada aplicación.

Es necesario mencionar que el equipo a ensayar está compuesto por el cartucho de memoria para la aplicación de subestación S80.

La solución a esta experiencia se puede encontrar en esta memoria en los capítulos 2 y 3, como sigue:

- Conocer las estructuras, regulador de potencia reactiva con microprocesador (**Cap. 2; Sección 2.1**), componente de la interface hombre máquina (IHM), disposición de terminales del Hardware del relé SEPAM serie 80 (**Cap. 2; Sección 2.2**), Tarjeta de comunicación entre regulador de potencia reactiva y MES120 (**Cap. 3; Sección 3.2**).
- Conocer la información técnica y contenido de ambos dispositivos, SEPAM serie 80 y regulador de potencia reactiva con microprocesador (**Cap. 2; Secciones 2.1 y 2.2, respectivamente**).
- Ubicar y ajustar las tensiones auxiliares necesarias para poner en servicio el relé (**Cap. 2, Subsección 2.2.1**).

Experiencia No. 2 de laboratorio

La segunda experiencia de laboratorio trata de la puesta en marcha del regulador de potencia reactiva con microprocesador y de la parametrización del relé vía software para una aplicación de control de un regulador de potencia reactiva con microprocesador. El software utilizado para realizar el seteo del relé es el SFT 2841, con el cual se realizan distintas configuraciones de seteos vía PC, según sea necesario. Los objetivos que se pretenden con esta experiencia son los siguientes:

- Puesta en marcha del regulador de potencia reactiva y poner en servicio el software SFT2841 serie 80.
- Poner en funcionamiento automático al regulador de potencia reactiva con microprocesador, conocer la información técnica, contenidos de parametrización y comprobación de conexión remota del Sepam serie 80.
- Practicar programación con ecuaciones lógicas, parametrización de relé SEPAM serie 80 en forma remota. realizar análisis de osciloperturbografía extracción de los mismos y simulación de fallas.

Lo importante que se debe mencionar en esta experiencia es que al momento de la simulación de falla se debe aumentar la carga hasta que la potencia reactiva mínima sea 6 kVAr para que así el primer grupo de condensadores se active tal como se muestra en la Tabla 1 del Anexo 7, de manera tal que las ecuaciones lógicas ingresadas cumplan su función de inhibición de las curvas. Para ello se debe conocer previamente el tutorial de la puesta en marcha de las cargas, debido a los problemas por corrientes inrush que poseen las cargas ya que estas son autotransformadores.

La solución a esta experiencia se puede encontrar en esta memoria en el capítulo 3, como sigue:

- Puesta en marcha del regulador de potencia reactiva (**Cap. 2; Subsección 2.1.4**) y poner en servicio el software SFT2841 serie 80 (**Cap. 3; Sección 3.3**).
- Poner en funcionamiento automático al regulador de potencia reactiva con microprocesador (**Cap. 2; Subsección 2.1.4 “Funcionamiento del regulador en forma automática”**), conocer la información técnica, contenidos de parametrización y comprobación de conexión remota del Sepam serie 80 (**Cap. 3; Sección 3.3**).

- Practicar programación con ecuaciones lógicas (**Cap. 3; Sección 3.3**), parametrización de relé SEPAM serie 80 en forma remota (**Cap. 3; Sección 3.3**), simulación de fallas (**Cap. 3; Subsección 3.3.2**) y realizar análisis de osciloperturbografía extracción de los mismos (**Cap. 3; Subsección 3.3.3**).

Las experiencias en su formato original y según norma se encuentran en el Anexo 9.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

La finalidad de este Seminario de Titulación consistió, en el diseño y acondicionamiento de un módulo de aprendizaje con la implementación del relé SEPAM serie 80 para una aplicación de protección por sobrecorriente de bancos de condensadores de un Regulador de Potencia Reactiva controlado por Microprocesador, obteniendo como resultado un módulo de aprendizaje, dos Guías de laboratorio y dos tutoriales, uno de puesta en marcha de los dispositivos utilizados y otro para la parametrización del relé SEPAM serie 80.

Para lograr la protección del Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador, por medio del SEPAM serie 80 en forma dinámica, fue necesario utilizar el MES 120, el cual posee entradas y salidas lógicas, las que pueden ser manipuladas por medio de ecuaciones por el usuario u operador encargado del seteo del relé.

Para lograr la comunicación entre el Regulador y el SEPAM se diseñó una interfase, debido a la incompatibilidad de tensiones de los dispositivos, ya que el regulador controla (por medio de contactores) los bancos de condensadores con una tensión de 220[V], por otro lado se tiene el MES 120 cuyas entradas lógicas se activan con 24 Vcc, lo que no permitía una comunicación directa entre los dos dispositivos. Cabe destacar que el diseño de esta tarjeta es para la utilización a nivel de estudio, ya que se formaron tres grupos de dos pasos y no individualmente, se realizó de esta manera para simplificar el trabajo en el laboratorio y la ejecución del proyecto, en caso contrario las ecuaciones lógicas serían más engorrosas. Con lo realizado se cumple de igual forma el objetivo que es la protección de los bancos de condensadores, pero en este caso de forma simulada serían tres bancos y no seis (que son los que originalmente tiene instalado el regulador). En el caso que se quisiera realizar un análisis o implementación en más profundidad de este proyecto, se deben eliminar las compuertas lógicas “OR” de la tarjeta de comunicación (página 71, figura 3.4), para que cada paso tenga su señal independiente, junto con ello se deben aumentar las entradas al MES 120 y asignarles las respectivas utilidades, y luego como se mencionó anteriormente se deben acondicionar o cambiar las ecuaciones lógicas. En

el diseño de esta interfaz se han aplicado conocimientos adquiridos en algunos ramos de la carrera, como son: Redes Eléctricas I y II, Sistemas Electrónicos y Microprocesadores.

En este caso se realizó la parametrización del SEPAM utilizando en primer lugar el Mes 120 para lograr la comunicación entre los dispositivos, y así lograr que el grupo activo (o curva activa) se elija por medio de entradas lógicas, esto se efectúa cambiando la configuración de características generales, y luego es necesario diseñar ecuaciones lógicas de tal forma que se logre la inhibición de la curva que no se va a utilizar en ese momento, en el cual se ha activado un paso. Es necesario destacar que para realizar la parametrización del relé SEPAM serie 80 para una aplicación de protección de bancos de condensadores como lo realizado en este seminario, es necesario tener amplios conocimiento de compuertas lógicas, para realizar una buena utilización de ellas en el editor de ecuaciones del SFT2841, y si es posible, se aconseja la utilización de una tabla de verdad (con todas las combinaciones posibles de conexión de pasos) la que es muy útil, ésta ayuda a disminuir la complejidad del problema. Es necesario recalcar que la utilización de una protección como el relé SEPAM serie 80, la debe realizar un operador calificado debido a su complejidad de manipulación y parametrización.

Los tutoriales han sido diseñados utilizando los programas “Camtasia Studio 3” y “Windows Movie Maker” los cuales hacen fácil la tarea de crear tutoriales más dinámicos y cómodos de entender ya que se muestra en pantalla lo que se debe realizar paso a paso para lograr una buena parametrización y puesta en marcha de los dispositivos, que es lo que se realizó en este seminario. El tutorial de la puesta en marcha se diseñó, debido a que las cargas utilizadas en las experiencias elaboradas en este proyecto, son delicadas y se debe tener sumo cuidado en la conexión de éstas, ya que son autotransformadores y debido a eso, al momento de la conexión se produce una corriente Inrush (corriente de partida elevada en transformadores), la que provoca la operación de las protecciones de estas (fusibles), por lo tanto para evitar lo anterior, es necesario alimentar las cargas por medio de una fuente de tensión regulable.

Finalmente, el desarrollo de este seminario cumplió todos los objetivos generales y particulares propuestos originalmente.

BLIBIOGRAFIA

- [1].- Schneider-Electric, Seleccction guide Communication accessories.
- [2].- Schneider-Electric, Manual de Usuario 2005, Protección de las redes eléctricas SEPAM serie 80, instalación, utilización, puesta en servicio y mantenimiento.
- [3].- Schneider-Electric, Protección de las redes eléctricas SEPAM serie 80, medidas protecciones y automatismos, 2005
- [4].- Manual PRD2D DNA ENERGIA 2004.
- [5].- Normas corporativas COELCE 2006 ENDESA.
- [6].- Compensación de energía reactiva por Schneider Electric.
- [7].- IEE Guide for harmonic control and reactive compensation of static power converters.
- [8].- Yebra Morón, Juan Antonio (1987), Compensación de potencia reactiva en sistemas eléctricos.
- [9].- Neira, Guillermo (2002), Puesta en servicio y diseño de módulos de aprendizaje de regulador de energía reactiva con microprocesador.
- [10].- Enríquez Harper, Gilberto (2006), La calidad de la energía en los sistemas eléctricos.
- [11].- www.schneider-Electric.com
- [12].- <http://www.directindustry.es/prod/siemens-power-transmission-distribution/rele-digital-de-proteccion-para-sobreintensidad-30064-150387.html>
- [13].- http://www.dsf-technologies.com/upload/proddocspdf/proddocspdf_3_250.pdf?PHPSESS_ID=d88af49d1aa1915bc4e5bf07abfa1033
- [14].- http://www.gedigitalenergy.com/products/brochures/mifii_sp.pdf
- [15].- Garrido, Cristóbal y Muñoz, José, (2009) Relé SEPAM serie80, Puesta en servicio y ensayo de módulos de capacitación.
- [16].- www.cne.cl
- [17].- www.datasheetcatalog.com/

ANEXO 1

1. CONSECUENCIAS DE UN BAJO FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia es un índice de calidad de servicio fundamental, ya que al tener un bajo factor de potencia la corriente consumida aumenta, lo que lleva también a un aumento de las pérdidas en las líneas de distribución, este índice bajo provoca un aumento en la potencia aparente lo que causa aumentos en los costos de instalación del alimentador ya sea de generadores, transformadores y líneas, este último debido al aumento de pérdidas por la alta intensidad de corriente, por lo tanto al tener un bajo factor de potencia se tienen gastos innecesarios tanto de la compañía suministradora de energía (explicado anteriormente) como del cliente, la compañía fija un límite mínimo de factor de potencia 0.93, si ese límite mínimo no es cumplido por el cliente este recibirá un recargo por parte de la compañía la cual está estipulada.

La normativa que controla este indicador, señala que el factor de potencia no debe ser inferior a 0.93, en el caso de ser menor será corregido a la brevedad, al no realizarse la corrección será multado, esta multa consta de un recargo en la facturación, este recargo es el 1% de la facturación por cada centésima en que el factor de potencia se encuentre bajo 0.93. En la página 12, se analiza la normativa con relación a este tema.

Un bajo factor de potencia se produce por una gran cantidad de carga inductiva conectada, ya sea motores, transformadores, entre otros. El tipo de carga conectada influye mucho en el factor de potencia, ya que este puede ser: en adelanto, en atraso e igual a 1.

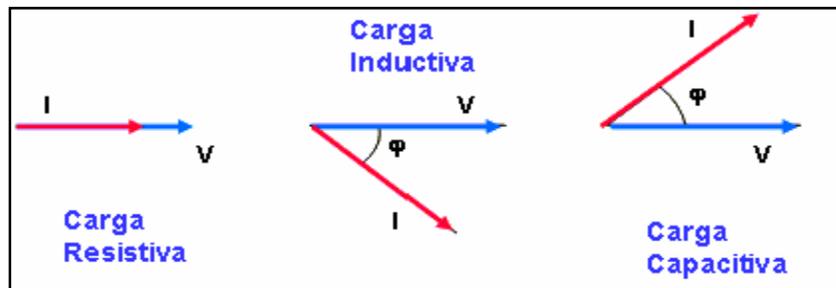


Fig. 1 Desfases según carga.

Cuanto mayor sea la corriente reactiva I mayor es el ángulo φ y, por lo tanto más bajo el factor de potencia. Un factor de potencia bajo en una instalación eléctrica implica un gran consumo de corriente reactiva, por lo tanto, pérdidas excesivas y sobrecargas en los equipos eléctricos y en las líneas de distribución y transmisión. Desde el punto de vista económico esto puede traducirse en la necesidad de cables de transporte de energía de mayor calibre y por lo tanto más caros, incluso en la necesidad de invertir en nuevos equipos de generación y transformación si la potencia demandada llega a sobrepasar la capacidad de los equipos existentes.

Para comprender la importancia del factor de potencia se consideraran dos receptores con la misma potencia, 3000 [W], conectados a la misma tensión 220[V], pero el primero con un factor de potencia alto $\cos\varphi_1 = 0.98$ y el segundo con un bajo factor de potencia $\cos\varphi_2 = 0.26$

❖ Primer caso $\cos\varphi_1 = 0.98$

Se conoce que:

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$S = V \cdot I$$

De lo que se puede obtener:

$$I_1 = \frac{P_1}{V \cdot \cos\varphi_1} = \frac{3000}{220 \cdot 0.98} \approx 13.91 \text{ [A]}$$

$$S_1 = V \cdot I_1 \approx 3061 \text{ [VA]}$$

❖ Segundo caso $\cos\varphi_2 = 0.26$

Utilizando las expresiones anteriores tenemos:

$$I_2 = \frac{P_2}{V \cdot \cos\varphi_2} = \frac{3000}{220 \cdot 0.26} \approx 52.44 \text{ [A]}$$

$$S_2 = V \cdot I_2 \approx 11538.41 \text{ [VA]}$$

Por lo tanto se puede concluir que los problemas por un bajo factor de potencia son:

- Mayor consumo de corriente
- Aumento de las pérdidas e incremento de las caídas de tensión en los conductores.
- Sobrecarga y sobre Dimensionamiento de generadores, transformadores y líneas de distribución, por lo tanto la reducción de la vida útil de estos.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente y por sobrepaso del límite de bajo factor de potencia.
- Disminuye la eficiencia eléctrica del sistema.
- Disminución de la regulación de tensión.

1.1. Corrección del factor de potencia

Para lograr la corrección del factor de potencia es necesario inyectar al sistema potencia reactiva en adelanto o capacitiva para así compensar la potencia reactiva inductiva que se encuentra, y de esta forma disminuir e incluso anular la misma, esta corrección se puede realizar por medio de un condensador, banco de condensadores o bien en algunos casos utilizando un motor síncrono el cual puede funcionar inyectando potencia reactiva capacitiva a la red cuando se encuentra sobreexcitado, los implementos nombrados anteriormente se deben instalar en paralelo a la carga.

Los beneficios al corregir el factor de potencia son: Reducción de las caídas de tensión; disminución de las pérdidas en conductores; incremento de la vida útil de las instalaciones; reducción de los costos (multa) por facturación eléctrica; aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores; menor requerimiento de intensidad de corriente para una potencia útil.

La forma de realizar la corrección del factor de potencia es mediante el “triángulo de potencia” (ver fig. 2), y de la siguiente manera:

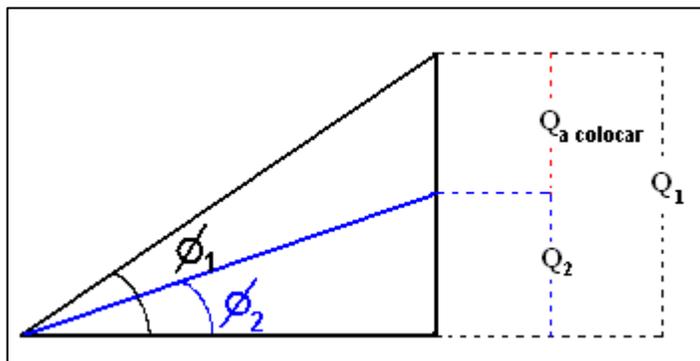


Fig. 2 Triángulo para la corrección del factor de potencia.

Existen dos maneras de corregir el factor de potencia en el ANEXO 2 se pueden apreciar con ejemplos.

1.2. Normativas referentes al factor de Potencia

1.2.1. Reglamento para baja tensión.

En lo establecido en el Reglamento para Baja Tensión (REBT)

MIBT 031- Artículo 1.8

Mejoramiento del factor de potencia

“Las instalaciones que suministren energía a receptores de los que resulte un factor de potencia inferior a 1, podrán ser compensadas, pero sin que en ningún momento la energía absorbida por la red pueda ser capacitiva.

La compensación del factor de potencia podrá hacerse por una de las dos formas siguientes:

- Por cada receptor o grupo de receptores que funcionen por medio de un solo interruptor, es decir, que funcionen simultáneamente.
- Para la totalidad de la instalación. En este caso, la instalación de compensación ha de estar dispuesta para que, de forma automática, asegure que la variación del factor de potencia no sea mayor que un

$\pm 10\%$ del valor medio obtenido en un prolongado período de funcionamiento.

Cuando se instalen condensadores y la conexión de éstos con los receptores pueda ser manipulada por medio de interruptores, estarán provistos aquellos de resistencias o reactancias de descarga a tierra.

Los condensadores utilizados para la mejora del factor de potencia en los motores asíncronos, se instalarán de forma que, al ser interrumpida la alimentación de energía eléctrica al motor, queden simultáneamente desconectados los indicados condensadores”.

2. CONDENSADORES

La utilización de condensadores en sistemas eléctricos de potencia ofrece, en general, ventajas importantes desde el punto de vista de la calidad del suministro de la energía eléctrica, ya que la instalación de ellos permite:

- Corrección del factor de potencia.
- Mejora de la caída de tensión.
- Disminución de pérdidas $I^2 \cdot R$.

Los condensadores se utilizan cuando se desee incrementar el tiempo de retraso de la tensión generada, o donde se desee mayor capacidad de almacenamiento de energía.

Estos se pueden instalar o localizar tanto en puntos de conexión de los usuarios como de la compañía suministradora de energía (redes de distribución y sistemas de transmisión).

La instalación de condensadores tiene ventajas como también desventajas estas últimas pueden ser:

- Problemas transitorios de tensión debido a la desconexión.
- Problemas transitorios de intensidad de corriente por conexión.

- Fenómeno de resonancia en paralelo.

2.1. Carga y descarga de condensadores.

El condensador en corriente continua se comporta como un circuito abierto, ya que si este se encuentra conectado a un circuito o red en un comienzo, está descargado, una vez que por él circula una intensidad de corriente se cargará y cuando eso suceda este condensador se comporta como circuito abierto y evita el paso de la intensidad de corriente por el circuito. En un circuito de corriente alterna el condensador ofrece una resistencia al paso de la corriente llamada Reactancia Capacitiva, cuyo valor queda representado por la siguiente ecuación:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad [1]$$

donde:

C = capacidad del condensador en faradios [f].

ω = velocidad angular o frecuencia angular [rad/seg].

Al conectar el condensador a una tensión alterna senoidal $v(t)$, por él circulará una intensidad de corriente $i(t)$, también senoidal, que lo comenzará a cargar originando en sus bornes una caída de tensión $-v_c(t)$, cuyo valor absoluto es igual a $v(t)$. Cuando se dice que por el condensador circula una corriente, cabe destacar, que en realidad dicha corriente nunca atraviesa su dieléctrico. Lo que en realidad sucede es que el condensador se descarga y carga constantemente al ritmo de la frecuencia de $v(t)$, por lo que la corriente circula externamente entre sus armaduras.

El fenómeno físico se puede apreciar en la siguiente figura:

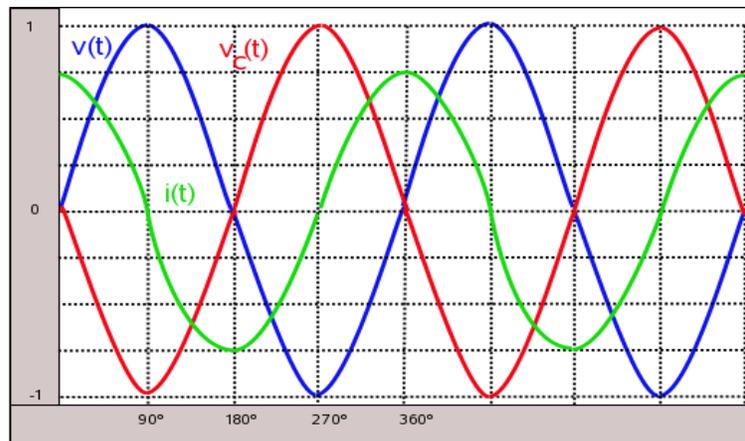


Fig. 3 Ondas senoidales de carga y descarga de un condensador.

Entre los 0° y los 90° $i(t)$ comienza a disminuir desde su valor máximo, a medida que la tensión del condensador $v_c(t)$ comienza a aumentar hasta llegar a su valor máximo (negativo) en los 90° , y en ese instante $i(t)$ es cero debido a la sumatoria de tensión ($v_c(t) + v(t) = 0$). Entre los 90° y 180° $v(t)$ comienza a disminuir, por lo tanto la tensión $v_c(t)$ del condensador disminuye lo que quiere decir que el condensador se comienza a descargar en ese instante, en 180° el condensador está completamente descargado y en ese momento la intensidad de corriente $i(t)$ alcanza su valor máximo (negativo), de los 180° en adelante el razonamiento de la carga y descarga es similar al anterior. Por lo tanto se puede deducir que la corriente $i(t)$ se encuentra adelantada en 90° respecto a la tensión.

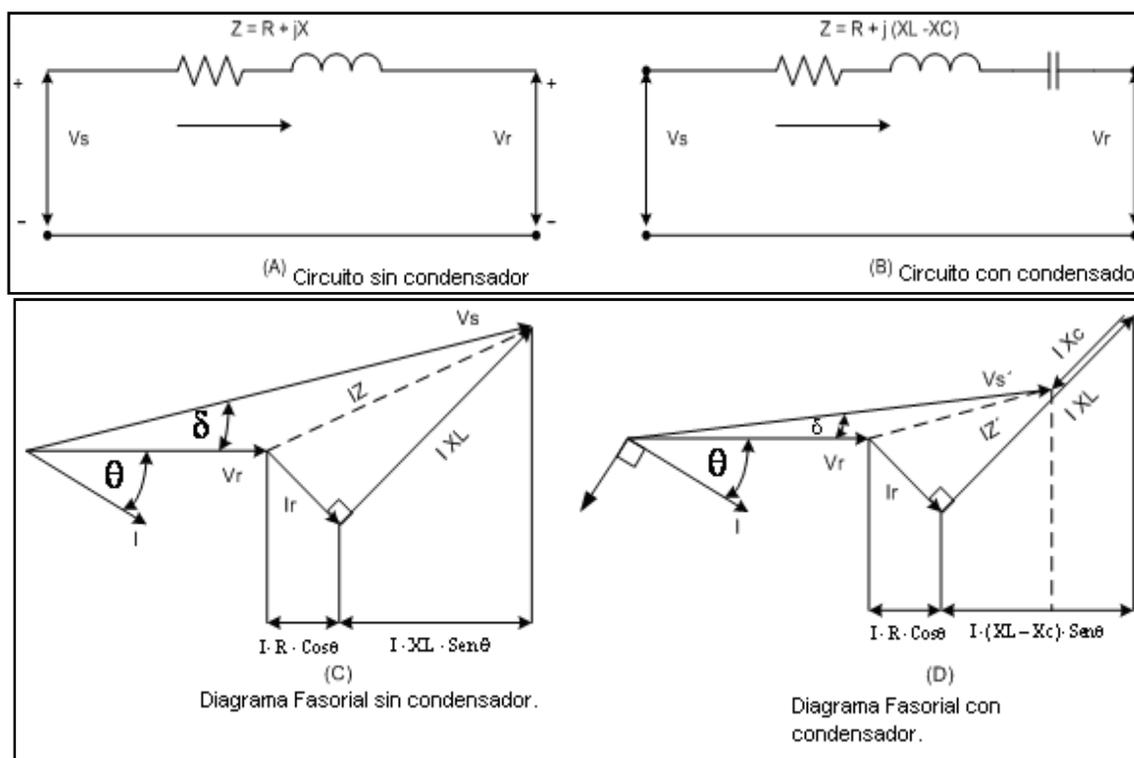
2.2. Efectos de los condensadores serie y shunt con la carga.

La función fundamental de los condensadores, en serie o shunt con la carga, instalados como unidades monofásicas o banco trifásico, es regular el voltaje y el flujo de potencia reactiva al punto donde son instalados. El condensador en shunt hace esto

cambiando el FP de la carga, mientras que el condensador en serie hace esto ajustando directamente la X_L (Reactancia Inductiva) del circuito al cual es aplicado.

Condensador en Serie

Su aplicación es muy limitada en sistemas de distribución y en terrenos pequeños. Su situación se ilustra en la fig. 4, de la figura se puede apreciar que un condensador en serie es una reactancia negativa con la finalidad de compensar una parte o todo el circuito donde se instala. Por lo tanto, el efecto primario de un condensador en serie es minimizar o suprimir la caída de tensión originada por la reactancia inductiva en el conducto. El inconveniente fundamental de los condensadores en serie (o grupo de condensadores), es la alta sobre tensión cuando circula por el condensador (o grupo de condensadores) una corriente de cortocircuito.



Las figuras (A) y (C) respectivamente muestran condición sin condensador en serie.

Las figuras (B) y (D) respectivamente muestran condición con condensador en serie.

Fig. 4 Circuitos y diagramas fasoriales con y sin condensador en serie conectado.

Un condensador en serie mejora el **fp** del sistema mucho menos que un condensador de shunt y tienen pequeños efectos sobre la fuente de corriente.

De la figura 4 (C) se puede apreciar que la caída de tensión sin condensador conectado es:

$$\text{Caída de tensión} = I \cdot R \cdot \cos \theta + I \cdot X_L \cdot \sin \theta \quad [2]$$

La magnitud del segundo término de la ecuación 2 es mucho mayor que el primer término. La diferencia obtenida puede ser mucho mayor cuando el **fp** y la razón $\frac{X_L}{R}$ son más pequeñas.

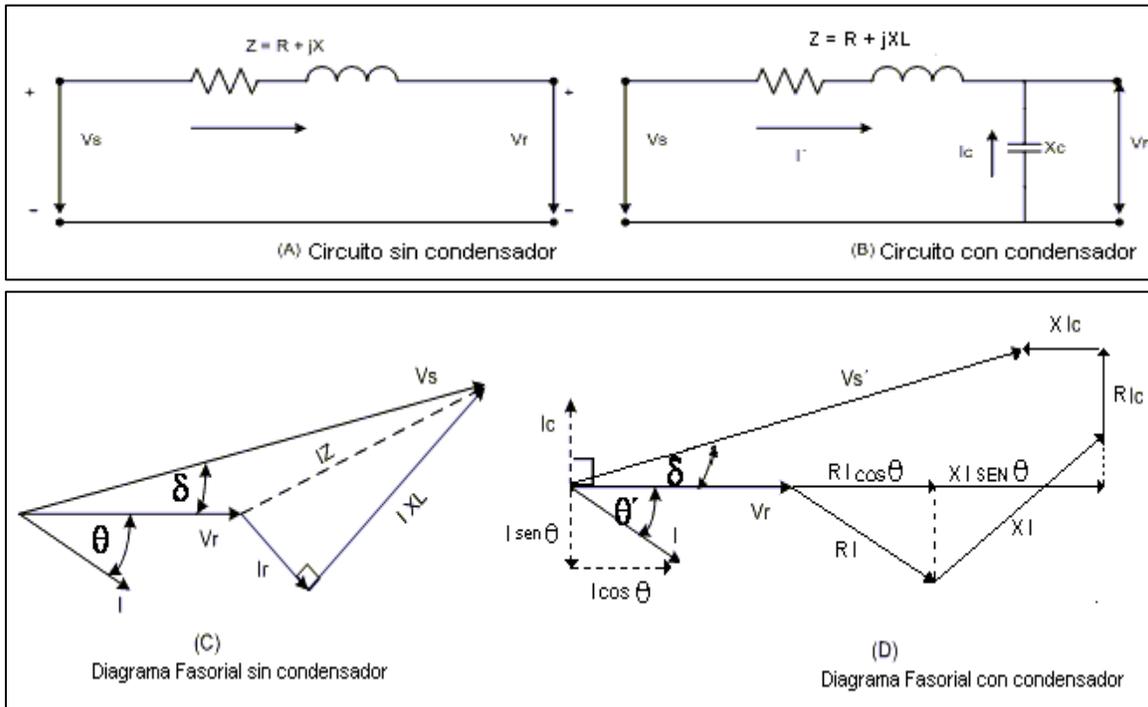
De la figura. 4 (D) se puede apreciar que la caída de tensión con el condensador conectado es:

$$\text{Caída de tensión} = I \cdot R \cdot \cos \theta + I \cdot (X_L - X_C) \cdot \sin \theta \quad [3]$$

Condensador en Shunt

Estos se usan ampliamente en sistemas de distribución. Estos suministran Q (potencia reactiva) o corriente para neutralizar la componente fuera de fase de la corriente requerida mediante una carga capacitiva. Por lo tanto, los condensadores en shunt modifican la característica de una carga inductiva mediante la inyección de una corriente en adelanto, la cual neutraliza uno o todos los componentes en atraso de la corriente de carga inductiva al punto de instalación. Por lo tanto el condensador en shunt tiene el mismo efecto que el de un condensador sincrónico sobreexcitado, generador o motor.

Estos pueden reducir la magnitud de la intensidad de corriente, mejorar el **fp** lo que lleva consecuentemente a mejorar la caída de tensión, y reducir la carga. Pero no afectan la corriente o el **fp** más allá de sus puntos de aplicación.



Las figuras (A) y (C) respectivamente muestran condición sin condensador en shunt.
 Las figuras (B) y (D) respectivamente muestran condición con condensador en shunt.

Fig. 5 Diagrama fasorial de Circuito de alimentación en atraso.

La caída de tensión en una línea sin condensador conectado es la que ya se conoce ecuación 2.

Al conectar un condensador (o banco de condensadores) en shunt, cuya corriente sea I_C , se puede aproximar la caída de tensión por fase “V” con la siguiente expresión:

Caída de Tensión $I \cdot R \cdot \cos \theta + I \cdot X \cdot \sin \theta - I_C \cdot X$ [4]

El diagrama fasorial que da a conocer estas relaciones se puede apreciar en la figura 5 (C) y (D), como los fasores $X \cdot I \cdot \sin \theta$ y $X I_C$ se encuentran en fase la ecuación anterior es una buena aproximación de la caída de tensión en la línea al conectar un condensador (o banco de condensadores). También se puede apreciar en la ecuación anterior que la caída de tensión en la línea disminuye al compensar la potencia reactiva. Por lo tanto la nueva tensión en los terminales de la carga será más elevada, y su expresión es la diferencia entre las ecuaciones 2 y 4:

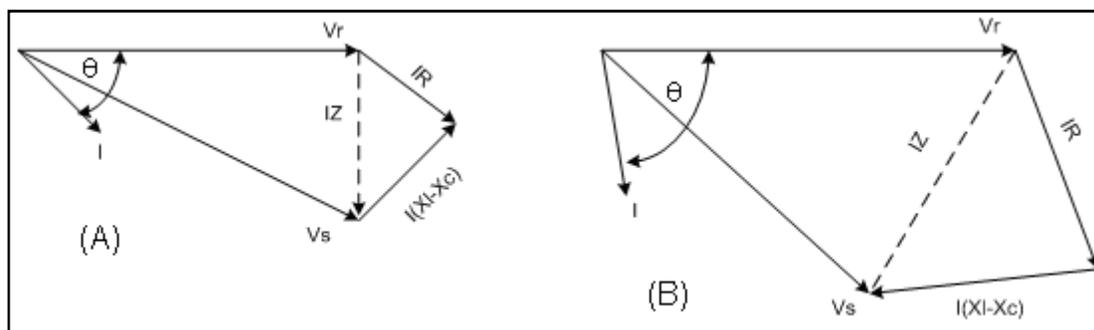
$$V_T = I_C \cdot X_C \quad [5]$$

Sobre compensación

Generalmente el tamaño de los condensadores en serie se selecciona para su instalación en el punto de suministro y la carga en la que X_C resultante es más pequeña que X_L del conductor alimentador. Sin embargo, en ciertas aplicaciones donde la resistencia R del conductor alimentador es más grande que X_L , lo opuesto debe ser proyectado de modo que la caída de tensión resultante sería:

$$\text{Caída de tensión} = I \cdot R \cdot \cos \theta - I \cdot (X_L - X_C) \cdot \sin \theta \quad [6]$$

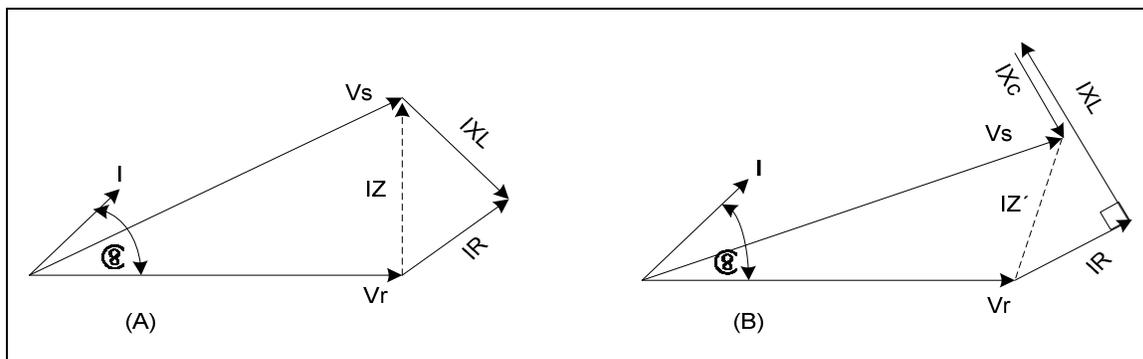
La ecuación anterior representa lo que se conoce como sobre-compensación. La figura 6 (A) muestra esta condición a carga normal, pero en algunos casos cuando el nivel elegido de sobre-compensación está basado sobre la carga normal, la sobre-compensación resultante del voltaje receptor final puede no ser aceptable porque la corriente en atraso de un motor grande a la partida puede producir un aumento extremadamente grande en la tensión, como lo muestra la figura 6 (B), la cual es especialmente nociva para la iluminación y origina flicker (parpadeo) en las luces, resultando un daño o disminución de la vida útil en los equipos.



A) Sobre-compensación del voltaje carga normal.
 (B) Sobre-compensación del voltaje a partida de grandes motores.

Fig. 6 Sobre-compensación del voltaje receptor.

Factor de potencia en adelanto: Para disminuir considerablemente la caída de tensión entre terminales de entrada y salida, mediante la aplicación de un condensador en serie, la I_{carga} debe tener un **fp** en adelanto. Esto se puede apreciar en la figura 7.



(A) Sin condensador serie.

(B) Con condensador serie.

Fig. 7 Diagrama fasorial con fp en adelanto.

De lo expuesto anteriormente, los condensadores en series no tienen gran aplicación en Sistemas de distribución. Sin embargo, ellos son empleados en sistemas de subtransmisión para modificar la división de carga entre líneas en paralelo. Por ejemplo, frecuentemente una línea de subtransmisión de gran capacidad térmica está en paralelo con una línea ya existente. Podría ser muy difícil, pero no imposible para la carga de la línea de subtransmisión de no sobrecargar la vieja línea. Aquí los condensadores de serie pueden ser empleados para compensar alguna de las reactancias de línea sin aumentar su capacidad térmica. Ellos también se emplean en sistemas de subtransmisión para disminuir la regulación de tensión.

2.3. Tipos de compensación.

La localización de los condensadores en una red o sistema eléctrico se determina según:

- El objetivo buscado, evitar multas, descarga de las líneas y transformadores, aumento de la tensión en el final de la línea.
- El modo de distribución de la energía.
- El régimen de carga.

- La consecuencia que puede provocar la instalación de los condensadores en la red.
- El costo de la instalación.

La compensación de la energía reactiva puede ser:

- Batería AT en red de distribución AT.
- Batería MT regulada o fija.
- Baterías BT, regulada o fija.
- Compensación fija para motor MT.
- Compensación fija para motor BT.

Los condensadores pueden ser instalados en tres niveles diferentes para realizar una:

- 1) Compensación global.
- 2) Compensación parcial.
- 3) Compensación individual.

2.3.1. Compensación global.

La instalación de los condensadores se realiza en la salida de Baja Tensión del transformador como lo muestra la siguiente figura:

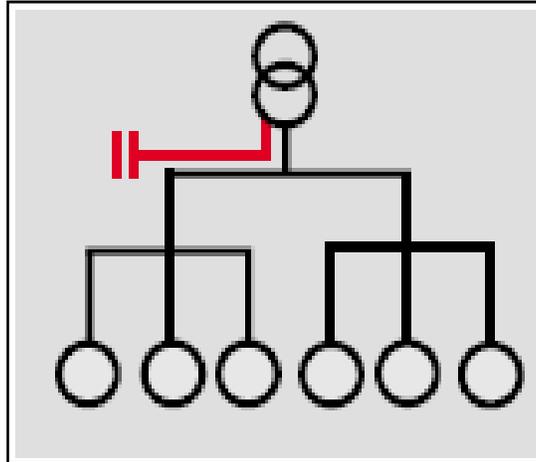


Fig. 8 Compensación global.

Las ventajas de la compensación global son:

- Evita las multas por un consumo excesivo de potencia reactiva (bajo factor de potencia).
- Ajusta la potencia aparente (S en kVA) a la necesidad real de la instalación.
- Aumento de la potencia disponible del transformador.

Se pueden realizar algunas observaciones respecto al lugar de instalación de los condensadores entre estas pueden ser:

- La corriente reactiva está presente en la instalación desde el primer nivel (acometida de la compañía suministradora) hasta los receptores.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuidas.

2.3.2. Compensación parcial

La instalación de los condensadores se realiza a la entrada de cada taller o lugar a compensar, como se muestra en la siguiente figura:

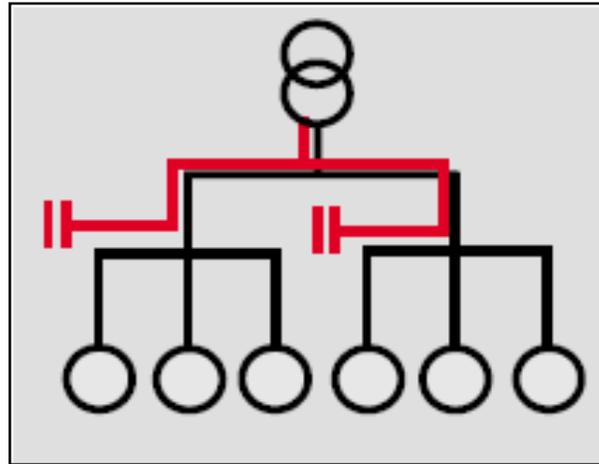


Fig. 9 Compensación parcial.

Las ventajas de esta instalación son las siguientes:

- Evita las multas por un consumo excesivo de potencia reactiva.
- Optimiza una parte específica de la instalación, la corriente reactiva no se encuentra en los niveles 1 y 2 (desde la subestación privada aguas arriba).
- Aumenta la potencia activa disponible del transformador.

Las observaciones que se pueden realizar respecto a este lugar de instalación son:

- La corriente reactiva esta presenta desde el segundo nivel hacia adelante (desde la entrada de cada taller aguas abajo).
- Las perdidas por efecto Joule en los cables se disminuyen.

2.3.3. Compensación individual

Esta compensación se realiza en los bornes o entrada de cada receptor de tipo inductivo, como lo muestra la siguiente figura:

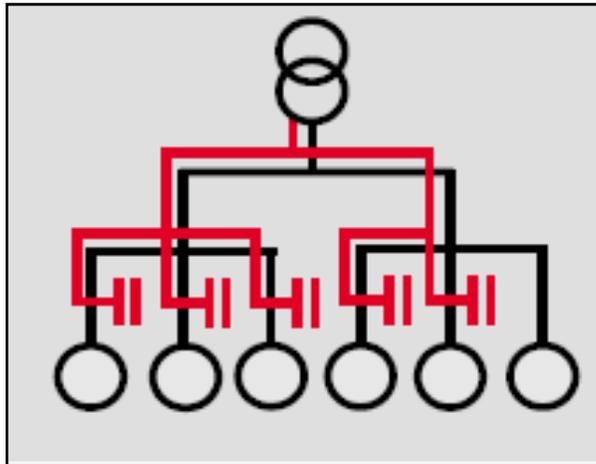


Fig. 10 Compensación individual.

Las ventajas de este tipo de compensación son:

- Evita las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva.
- Optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva se abastece en el mismo lugar de consumo.
- Aumenta la potencia activa disponible en el transformador.

Las observaciones que se pueden realizar respecto a este tipo de instalación son:

- La corriente reactiva no está presente en los cables de la instalación.
- Las pérdidas por efecto Joule en los cables se suprimen totalmente.

2.4. Conexión del sistema de tierra:

En subestaciones con neutro aislado o conectado a tierra, a través, de una impedancia, los bancos de condensadores deben conectarse con neutro flotante. Con esto se evita la circulación de corrientes armónicas por el banco de condensadores las que producen magnitudes de corriente proporcional a la nominal que puede dañar al condensador.

La ventaja del banco de condensadores con neutro flotante es permitir el uso de fusibles de baja capacidad de ruptura.

Los Bancos de condensadores con neutro flotante se pueden conectar en tres formas diferentes:

- 1.- Simple estrella un grupo.
- 2.- Doble estrella, un grupo.
- 3.- Simple estrella, dos grupos en serie.

Ejemplos de las conexiones de mencionadas anteriormente

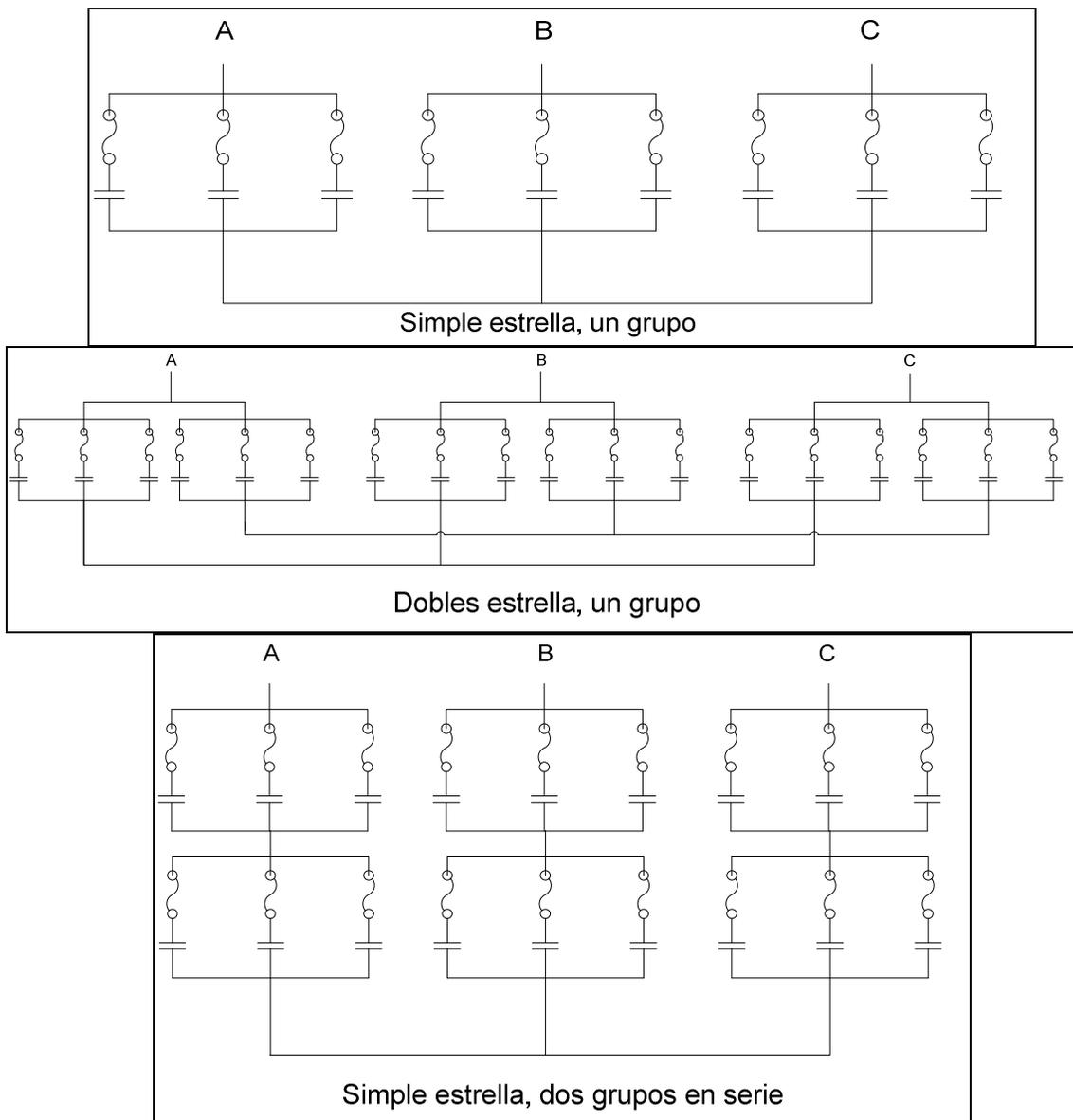


Fig. 11 Conexión de bancos de condensadores con neutro flotante.

2.5. Compensación fija o automática

Cuando se tiene calculada la potencia reactiva necesaria para realizar la compensación, se presenta la posibilidad elegir entre una compensación fija y una compensación automática o variable.

2.5.1. Compensación fija

Es aquella en la que se suministra a la instalación la misma potencia reactiva. Esta se debe utilizar cuando se necesite compensar una instalación en donde la demanda reactiva sea constante. Es recomendable en instalaciones en las que la potencia reactiva a compensar no supere el 15% de la potencia nominal del transformador (S_n)

2.5.2. Compensación automática o variable

Es aquella en la que se suministra potencia reactiva según las necesidades de la instalación. Esta se debe utilizar cuando la demanda de potencia reactiva de una instalación sea variable. Es recomendable en las instalaciones donde la potencia reactiva a compensar supere el 15% de la potencia nominal de transformador (S_n).

2.5.3. Ejemplos de compensación

- **Compensación Fija**

Se quiere compensar un pequeño taller en el que la potencia reactiva a compensar es constante, con una pequeña oscilación.

La demanda de potencia reactiva es:

- Demanda mínima de 13 kVAr/h por día.
- Demanda máxima de 17 kVAr/h por día.
- Demanda media de 15 kVAr/h por día.

Lo que interesa al realizar la compensación es tener la instalación compensada lo máximo posible, sin incurrir en una sobrecompensación.

Si se realiza una compensación con 13 kVAr se tendrá asegurada la compensación mínima de 13 kVAr, pero sin llegar a la demanda media de 15 kVAr, por lo tanto se esta subcompensando la instalación.

Lo contrario ocurre si se compensa con los 17 kVAr de demanda máxima; en este caso se incurre en la sobrecompensación de la instalación durante todo el día. Con esta medida no se logra ninguna ventaja adicional, y se puede sobrecargar la línea de la compañía suministradora.

La solución normal a este problema es compensar con 15 kVAr, y de esta forma adaptarse a la demanda de potencia reactiva que hay en la instalación.

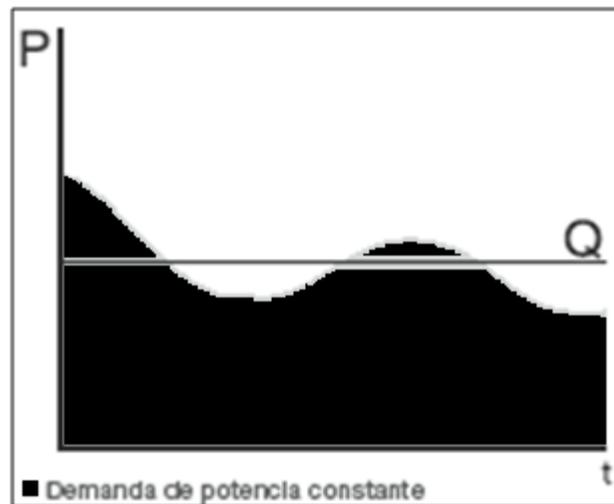


Fig. 12 Gráfico de compensación fija.

En la figura anterior (fig. 12) muestra el gráfico de compensación fija, en donde se puede apreciar claramente que hay horas durante el día donde la instalación se encuentra sobrecompensada y otras horas en donde la instalación se encuentra subcompensada.

- Compensación Automática o Variable.

Si se quiere compensar una instalación en donde la potencia reactiva a compensar tiene muchas fluctuaciones, se debe utilizar una compensación que se adapte en cada momento a las necesidades de la instalación.

Para conseguir este objetivo es necesario utilizar baterías autorreguladas de condensadores.

Las baterías están formadas básicamente por:

- Regulador de potencia reactiva.
- Condensadores.
- Contactores.

El regulador detecta las variaciones en la demanda de potencia reactiva, y en función de estas fluctuaciones actúa sobre los contactores, permitiendo la conexión o desconexión de los condensadores necesarios.

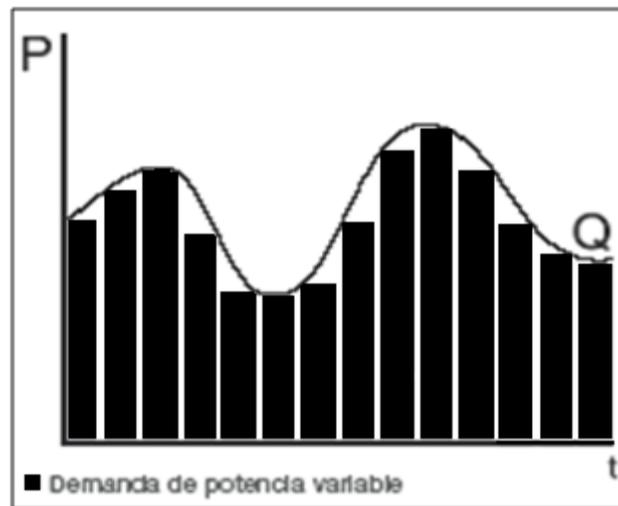


Fig. 13 Gráfico compensación automática

En la figura anterior (fig. 13) se puede apreciar el gráfico de la compensación automática, en donde la batería de condensadores entrega en cada momento la potencia necesaria, evitando de este modo una sobrecompensación o una subcompensación.

2.6. Aplicaciones de la compensación automática.

Los bancos de condensadores automáticos deben aplicarse en los sistemas eléctricos con las siguientes características:

I. Demanda variable de Potencia Reactiva:

En plantas donde la demanda de Potencia Reactiva, es considerablemente variable, los bancos automáticos proveen la potencia necesaria en los picos de demanda y salen de operación al disminuir la demanda, tal caso se puede presentar los fines de semana ya que la carga es baja y constante y un banco fijo sobrecompensaría en tales casos.

II. Regulación de voltaje:

La regulación de voltaje del sistema eléctrico puede recurrir el uso de gran cantidad de condensadores en horas de plena carga, que deben desconectarse cuando disminuye la carga del sistema ya que de lo contrario se pueden producir sobrevoltajes.

III. Posibilidad de factor de potencia excesivo adelantado en los generadores:

En caso de que en un sistema existan condensadores que puedan corregir el fp en los generadores, a la unidad o valores adelantados, en situación de baja carga, esto puede causar una excitación excesivamente baja de los generadores y reducir la estabilidad del sistema por lo cual los condensadores deben ser desconectados en tales situaciones.

Los reguladores son aparatos de medida, control y comando, que al complementarlos con condensadores forman las baterías automáticas, incorporando o sacando condensadores para mantener el $\cos \phi$ de la instalación en un valor predeterminado.

Pueden comandar hasta 12 pasos o escalones de condensadores de igual o distinta potencia, y seleccionar de entre ellos los kVAr necesarios para obtener el $\cos \phi$ deseado.

Estos reguladores son básicamente equipos electrónicos compuestos de:

- Un microprocesador.
- Unidades de interfaces de entradas y salidas.
- Unidad de memoria.

En esta última reside el programa de aplicación para el usuario (regulaciones). Estos programas pueden accionarse de manera automática o manual.

Estos reguladores entraron al mercado hace unos 17 años, los primeros, con indicadores luminosos del estado del $\cos \phi$, luego aparecieron los reguladores con visualizador digital, ambos, con ajustes manuales del factor de potencia y sensibilidad. Posteriormente los reguladores totalmente automáticos, con visualización digital de corriente, tensión, potencias, alarmas, detección de fallas y armónicas.

Tomando señales de tensión fase-neutro o fase-fase y de corriente mediante un transformador, estos, son capaces de analizar el sistema al cual están conectados, identificando la potencia reactiva necesaria para lograr el factor de potencia previamente ajustado.

3. BATERIAS DE CONDENSADORES REGULADAS AUTOMATICAMENTE

Las baterías de condensadores autorreguladas de grandes, medianas y pequeñas potencias han sido desarrolladas con el fin de mejorar en instalaciones el factor de potencia inferior a 1, pero sin que en ningún momento la energía absorbida por la red sea capacitiva.

Estas baterías formadas por grupos de condensadores trifásicos de potencia, equipos de maniobra, protección, y el equipo de control (regulador automático de potencia), montado generalmente enfrente de los tableros (a la vista) para su fácil acceso y manipulación del operador.

Las baterías de condensadores están eléctrica y mecánicamente listas para ser conectadas a la red de alimentación.

Este tipo de baterías están debidamente diseñadas, por lo que presenta algunas ventajas:

1. Dimensiones reducidas.
2. Acceso expedito a los condensadores y circuitos en general.
3. Una perfecta integración a continuación de los cuadros eléctricos.
4. Posibilidad, si fuera necesario, de ampliación.

El material utilizado para la confección y puesta en marcha de la batería autorregulada está formada por los siguientes componentes:

- Contactores adaptados a corte de corrientes capacitivas.
- Fusibles de alto poder de corte.
- Impedancias limitadoras de intensidad.
- Resistencias de descarga rápidas (acopladas a los contactores).
- Condensadores trifásicos de potencia.
- Placa normalizada de conexión para la alimentación del circuito de potencia.
- Regulador automático de potencia reactiva.
- Reactancias de filtros de rechazo para armónicos en el caso de que fuera necesario.

Existen varios modelos de reguladores o baterías de condensadores (según su marca), dependiendo de la necesidad de la instalación. En el diseño de las baterías, se ha tenido en cuenta desde la instalación más pequeña hasta la más grande con sus distintos modelos, MINI-MURAL, MURAL Y MODULAR.

3.1. Sistemas de regulación.

Las baterías equipadas con reguladores automáticos de energía reactiva permiten la conexión de escalones de igual o distinto potencial, según las necesidades de utilización.

En general, la relación de escalonamiento de los condensadores de una batería automática son básicamente sistemas de:

- RELACION 1:1:1... En este caso todos los escalones son de igual potencia. La potencia total de la batería se divide entre el número de escalones que tiene el regulador automático.
- Ejemplo: Una batería de 50 kVAr, relación 1:1:1..., equipada con un regulador de 6 escalones, estará formada por 5 CONDENSADORES de 10 kVAr cada uno.

- RELACION 1:2:2... En este caso, la potencia de los condensadores siguientes al condensador situado en el primer escalón, es el doble. Con este sistema, y siempre a través del regulador automático, entraran los condensadores según la necesidad, sin que el primer escalón actúe innecesariamente. De esta manera se evita el desgaste prematuro del primer condensador.
- Ejemplo: Una batería de 75 kVAr, relación 1:2:2..., equipada con un regulador de 3 escalones, está formada por tres condensadores, siendo el primer escalón de 15 kVAr y los siguientes de 30 kVAr (equivalentes a una batería de 75 kVAr, relación 1:1:1... de 5 escalones).

- RELACION 1:2:4... En este caso, la potencia del condensador siguiente al condensador situado en el primer escalón, es el doble de potencia, y el tercer escalón el cuádruple que el primero, actuando igual que el sistema anterior.
- Ejemplo: Una batería de 17.5 kVAr, relación 1:2:4..., equipada con un regulador de 3 escalones, está formada por: primer escalón 2.5 kVAr, segundo escalón 5kVAr y el tercer escalón 10 kVAr, teniendo una potencia total de 17.5 kVAr.

Los reguladores están provistos de un microprocesador y hacen un desgaste generalizado de todos los escalones por igual.

3.2. Efectos de la desconexión y conexión de condensadores.

Aunque los interruptores de potencia están diseñados principalmente para interrumpir altas corrientes de corto circuito del tipo inductivo, no necesariamente existe una relación directa entre la capacidad de un interruptor para interrumpir corrientes de corto circuito o para interrumpir corrientes capacitivas.

Por otro lado, se reconoce que las oscilaciones de corriente y tensión de altas frecuencias pueden tener efecto en la conexión y desconexión de los condensadores; si no se controlan, pueden dañar a los aparatos o producir interrupciones en el sistema.

La batería de condensadores a través del regulador conecta y desconecta los condensadores, durante estas maniobras suceden una serie de fenómenos. Uno de los fenómenos se produce a la conexión, puesto que un condensador descargado ofrece prácticamente una impedancia cero al flujo de corriente cuando se le aplica tensión, es posible que grandes corrientes transitorias de alta frecuencia fluyan durante el periodo de su energización. Este fenómeno es particularmente más acentuado cuando habiendo condensadores en tensión se produce la conexión de mas condensadores de la propia batería. En la actualidad los condensadores para la corrección del factor de potencia usados en esta batería, se fabrican con film de polipropileno metalizado con Zn (Zinc) y Ag (Plata) y con una resistencia óhmica según las características designadas por el fabricante. El dieléctrico de estos condensadores es el propio polipropileno el cual deberá tener el espesor y la rigidez dieléctrica adecuada a la tensión de trabajo del condensador. El elemento conductor es el metal (Zn y Ag) que se adhiere a la película de film de polipropileno mediante la proyección al vacío (FILM METALIZADO) y será el encargado de transmitir la energía eléctrica entre las placas del condensador, la correcta determinación de los parámetros eléctricos (resistividad y rigidez) de esta metalización por parte del fabricante, hace que este film sea adecuado para la fabricación de condensadores de potencia. Las unidades fundamentales del condensador son las bobinas de una determinada capacidad, que debidamente acopladas constituyen el condensador trifásico de potencia. El proceso de fabricación de las bobinas, es el más adelantado tecnológicamente ya que utiliza técnicas de bobinado específicas para los condensadores trifásicos de potencia, capaces de soportar los

elevados valores de corrientes que se producen en los mismos durante la conexión a la red. Los valores de corriente en las conexiones vienen definidos por la siguiente fórmula:

$$I_m = \frac{K-1}{K} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot V}{\sqrt{3}} \cdot \sqrt{\frac{C_e}{L_m}} \quad [7]$$

en donde:

I_m = Corriente de cresta (o corriente máxima) del escalón K que se conecta en paralelo con los K – 1 ya conectados.

L_m = Inductancia serie (μ H) por fase entre la unión y el escalón K.

C_e = Capacidad equivalente por rama de estrella del escalón K.

El otro fenómeno que se produce a la desconexión, ya que la máxima tensión a través de un banco de condensadores que se energiza no excede el doble de la tensión permanente (o de funcionamiento), considerando que el interruptor del banco cierra limpiamente; por ejemplo: No hay pregolpeado, o no rebotan los contactos. Por lo tanto cuando un banco de condensadores se desenergiza, considerando que no existe reencendido en el interruptor, la máxima tensión a través del condensador es igual al valor máximo de tensión de la fuente. Aunque una tensión en exceso de dos veces el valor nominal se puede tolerar, es deseable limitar la tensión a dos veces el valor de línea a neutro (F-N) para condiciones normales de conexión y desconexión. Cuando un interruptor opera a fin de interrumpir una corriente capacitiva, se dan ciertos fenómenos que a continuación se describen para el caso de un banco de condensadores con neutro a tierra.

La tensión inicial a través del interruptor después de la interrupción de la corriente capacitiva es prácticamente cero, puesto que el banco de condensadores mantiene la misma tensión máxima (tensión peak) que existiría en el lado de las barras del interruptor enseguida de que la corriente se hace cero. Esto permite que cualquier interruptor interrumpa con facilidad durante el primer cero natural de la corriente. Sin embargo, medio

ciclo después, la tensión de la fuente cambia de signo mientras que la tensión en el banco ha permanecido en el mismo valor, casi igual a la tensión máxima de la fuente. Así, la tensión aplicada al interruptor abierto es del doble de la permanente. Si la recuperación del aislamiento del interruptor ha sido suficiente, de manera que el reencendido no ocurra entonces el circuito se puede considerar como interrumpido. Ahora bien, si el interruptor no gana suficiente aislamiento durante el primer medio ciclo después de la interrupción de la corriente; es decir, cuando la tensión sea máxima en la dirección opuesta, ocurre un reencendido y las corrientes asociadas invierten el potencial en el condensador. La frecuencia de esta corriente la determina la capacitancia e inductancia del circuito y en la mayor parte de los casos está entre 600 Hz y 6 kHz. Esta corriente oscilatoria pasaría a través de muchos ceros de corriente si no fuera porque el interruptor, por lo general, la interrumpe en los primeros pasos por cero. La frecuencia de la tensión asociada con la corriente de alta frecuencia es la misma; pero esta a 90° en atraso con respecto a la corriente. Así, si la corriente de alta frecuencia se interrumpe durante el primer cero de corriente, la tensión de alta frecuencia que tendría un valor máximo queda atrapada en el banco de condensadores. Esta tensión puede ser hasta tres veces el valor máximo nominal, dependiendo del instante en el que ocurre el reencendido. Después de medio ciclo del primer reencendido, la tensión a través del interruptor es cuatro veces el valor máximo nominal. Si ocurre un segundo reencendido en este punto, la tensión en el banco de condensadores puede ser, teóricamente, tan alta como cinco veces el valor máximo nominal. Sin embargo, prácticamente se ha demostrado que raramente se presentan sobretensiones por reencendido que excedan tres veces al valor mencionado. Por lo tanto es necesario que la desconexión del condensador a la red se deba efectuar mediante resistencias de descarga rápida con el fin de eliminar la cantidad de carga acumulada en el condensador antes de producirse una nueva conexión. Esta operación se efectúa en la maniobra de desconexión mediante la instalación de resistencias rápidas en los contactos auxiliares de los contactores de maniobra, con el fin de evitar que cuando el regulador de la batería autorregulada dé alguna orden de conectar el condensador, este no se encuentre en contrafase con la red y por lo tanto cargado de una determinada cantidad de electricidad, lo que puede producir corrientes elevadas de retorno que dañan los elementos capacitivos, los de mando y control.

Para la seguridad de manipulación y almacenamiento se instala en todos los condensadores trifásicos de potencia, resistencias de descarga las cuales tienen como misión descargar el condensador hasta una tensión máxima de 50 V en un tiempo máximo de 60 segundos.

3.3. Presencia de armónicos en la red

Los armónicos son distorsiones de las ondas senoidales de tensión y/o corriente de los sistemas eléctricos, debido al uso de cargas con impedancia no lineal, a materiales ferromagnéticos, y en general al uso de equipos que necesiten realizar conmutaciones en su operación normal. La aparición de corrientes y/o tensiones armónicas en el sistema eléctrico crea problemas tales como, el aumento de pérdidas de potencia activa, sobretensiones en los condensadores, errores de medición, mal funcionamiento de protecciones, daño en los aislamientos, deterioro de dieléctricos, disminución de la vida útil de los equipos, entre otros.

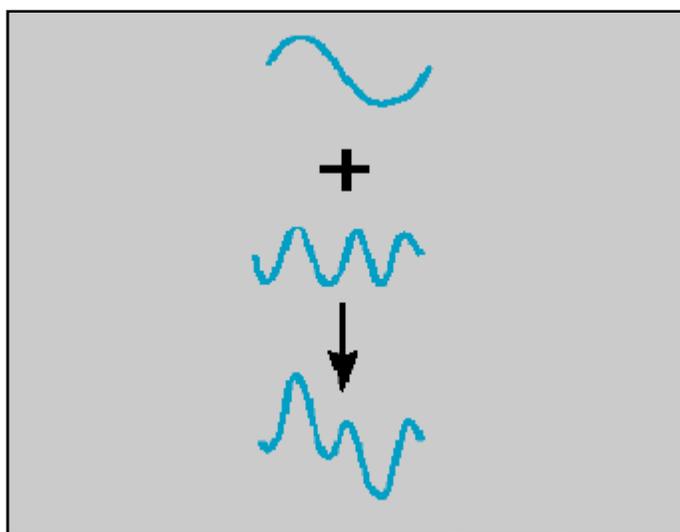


Fig. 14 Composición de onda con armónicos.

Estos armónicos presentan una frecuencia “n” veces mayor a la de frecuencia de la onda fundamental, donde el llamado orden del armónico queda definido por este número

entero “n”. Así, la 3ª armónica corresponde a una forma de onda, tensión o corriente, de frecuencia 150 Hz, eso quiere decir 3 veces mayor a la frecuencia fundamental de 50 Hz.

La siguiente figura muestra las formas de onda de la 3ª y 5ª armónicas que son las más frecuentes en el sistema eléctrico:

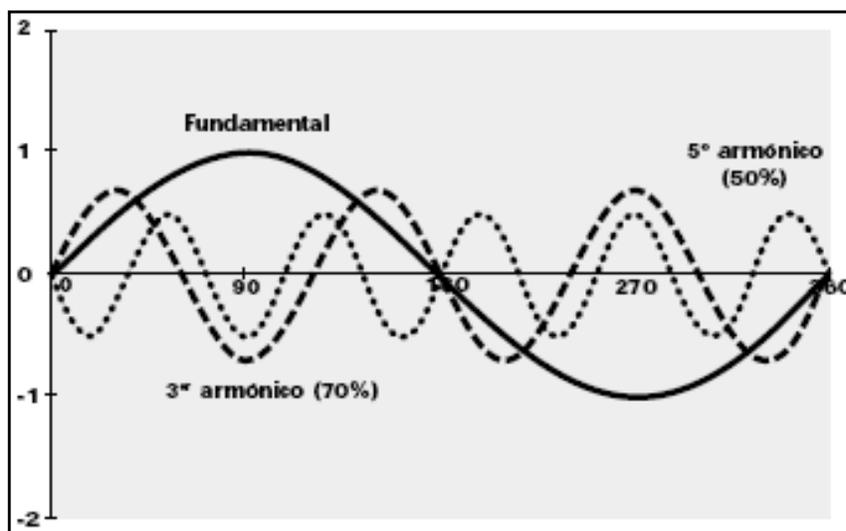


Fig. 15 Onda fundamental con 3º y 5º armónico.

Estos armónicos se encuentran presentes en todas las instalaciones, debido a la generación mediante alternadores de polo lisos, pérdidas en transformadores de potencia en la red de transporte y distribución; aunque solo llegan a ser problemáticos cuando alcanzan una amplitud de onda representativa, por existir un gran consumo de receptores no lineales en la instalación (bobinas con núcleo ferromagnético de pérdidas excesivas, empleo, por parte de la electrónica de potencia, de semiconductores en el mando, la regulación, etc), por recibir en comedita una señal excepcionalmente deformada debida a componentes armónicos que sean generados por otros abonados comunicados a través de la red de suministro, por estar sometida la instalación a continuos cortes y reenganches de cargas inductivas de alto consumo.

Estos factores son determinantes para provocar el incremento de las corrientes armónicas, que a través de las impedancias equivalentes de las redes dan lugar a tensiones armónicas superiores, y aumentando la potencia reactiva. Si este fenómeno llegara presentar amplitudes de onda de valor superior a las características del condensador, sería necesaria la instalación de un filtro de rechazo de armónicos previo a cada condensador.

Los armónicos no solo actúan, provocando sobrecargas, a los condensadores instalados en las baterías autorreguladas, sino que afectan el buen uso de todos los elementos de la instalación, provocando perturbaciones en las redes telefónicas, errores en los contadores eléctricos, actuaciones inoportunas en las distintas protecciones, alteraciones en los sistemas informáticos, etc.

Cuando se trata solo de mejorar el factor de potencia, la solución es más asequible, pero si se desea reducir la distorsión armónica, el problema se hace más complejo, al no existir una solución global para cualquier instalación. La reducción de la distorsión pasaría por una solución exclusivamente aplicable a la instalación en estudio, debido a la influencia que tiene la impedancia de cortocircuito (equivalente de la red vista desde la acometida de la instalación), y la impedancia equivalente de la propia instalación (tomando en cuenta todos sus receptores) sobre la distorsión.

En la corrección del factor de potencia, podemos resumir que, cuando se presenta el fenómeno de la distorsión armónica, es recomendable para la protección de sus baterías de condensadores, la instalación de filtros de armónicos, cuando el fenómeno excepcionalmente supera los parámetros de trabajo del condensador o mediante el uso de condensadores especiales para soportar sobretensiones y sobrecorrientes.

4. PROTECCION A BANCO DE CONDENSADORES

La protección de los bancos de condensadores está íntimamente ligada con el arreglo y conexión de los mismos. Los arreglos más usados son:

- Una sola fila de condensadores en paralelo por fase.
- Varias filas de condensadores conectadas en serie por fase, serie - paralelo.

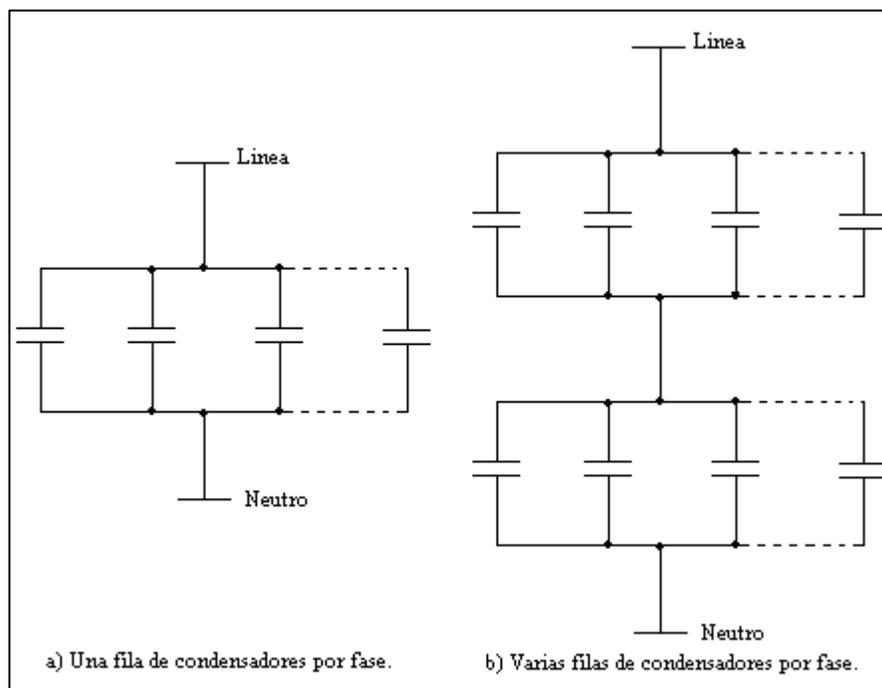


Fig. 16 Arreglo de bancos de condensadores.

La conexión de los bancos puede ser en delta o en estrella: si es en estrella, la conexión puede ser con el neutro conectado a tierra o flotante. Cuando se utiliza el primer arreglo (una sola fila de condensadores en paralelo por fase) para la conexión delta, la falla de una unidad significa un corto-circuito entre fases; para la conexión en estrella con neutro a tierra, la falla de un elemento del banco viene a ser la falla de una fase a tierra, pero cuando el neutro está flotante, la corriente por la falla de una unidad de una fase, es igual a tres veces la corriente nominal de dicha fase, para el arreglo serie - paralelo, la corriente de cortocircuito al fallar un condensador en una de las filas, está limitada por la impedancia de las otras filas restantes y no varía de una forma tan significativa con el tipo de conexión.

La protección con fusibles es frecuentemente utilizada para bancos de condensadores y pueden aplicarse para proteger unidades individuales o en grupo. A pesar de que la protección individual de condensadores tiene las ventajas de ser más selectiva, de permitir usar fusibles más pequeños y de indicar directamente la unidad fallada, presenta inconveniente. En el caso de un banco conectado en estrella con neutro flotante, la falla y desconexión de algunas unidades en cualquiera de las fases, origina un desplazamiento

eléctrico del neutro que, a su vez ocasiona una sobretensión en los condensadores de las fases que han quedado con una mayor impedancia. En caso de bancos conectados en estrella con neutro a tierra, o en delta, cuyas fases estén formadas por varias filas de condensadores conectados en serie - paralelo, la falla y desconexión de algunas unidades de las filas puede originar una redistribución de la tensión aplicada en dichas filas.

4.1. Protección con fusible

Cuando se selecciona un fusible para proteger un banco de condensadores, se debe considerar:

- La corriente nominal.
- La corriente de puesta en servicio.
- La energía de ruptura.
- La corriente de cortocircuito que se tiene en el lugar de su instalación.
- El tipo de conexión.

Corriente Nominal

Independientemente de si se emplean fusibles para un solo condensador o para un grupo, primero se debe determinar la capacidad de la unidad, osea la corriente por fase. A continuación se debe tomar en cuenta el contenido de armónicas, un valor de **1,35** veces la corriente de carga es el factor más empleado para determinar la corriente nominal del dispositivo de protección.

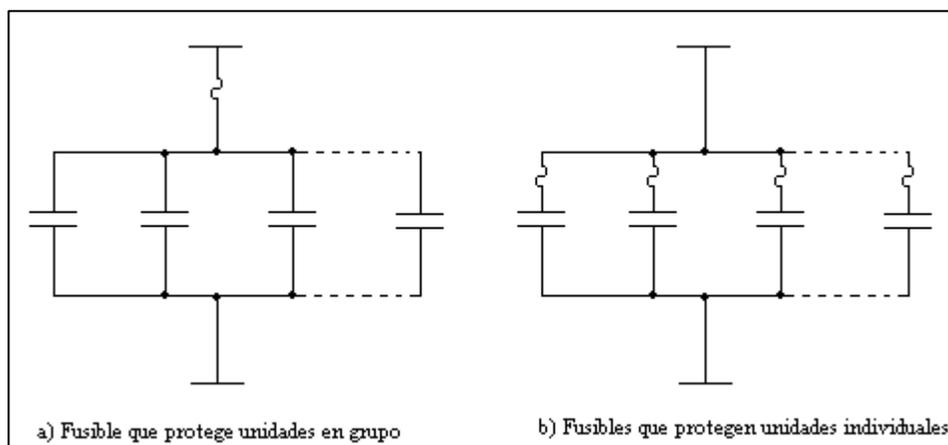


Fig. 17 Protección en grupo e individual de bancos de condensadores.

Corriente de Puesta en Servicio.

Puesto que la corriente de puesta de servicio es de régimen transitorio es mejor analizar este fenómeno a través del concepto de energía ($i^2 \cdot t$). Para calcular la magnitud de la corriente de puesta en servicio en un punto determinado del circuito, conectado en estrella aterrizado, se puede emplear una expresión de la energía dada en función de la corriente de cortocircuito y de la relación X/R del circuito hasta el punto de localización del banco. La siguiente expresión permite calcular la energía ($i^2 \cdot t$) basada en el valor peak de la corriente de puesta de servicio.

$$i^2 \cdot t = 2.65 \cdot \sqrt{1 + k^2} \cdot I_L \cdot I_{CC} \text{ Ecuación 8}$$

donde:

K : X/R en el lugar donde esté instalado el banco.

I_L : Corriente nominal del banco en amperes.

I_{CC} : Corriente de cortocircuito en el lugar donde esté instalado el banco en A.

Con esta expresión y considerando que la energía ($i^2 \cdot t$) para bancos aislados de tierra es 2,25 veces que para bancos aterrizados, se puede calcular la energía en cualquier punto del circuito para diferentes condiciones.

Una vez que se calcula la energía, es necesario determinar la energía de fusión mínima del fusible seleccionado. Esto se realiza calculando la energía para 0,01 segundos en la curva tiempo–corriente de fusión mínima y multiplicándola por un factor igual a 0.7; este valor es un factor de seguridad que permite considerar el efecto piel a altas frecuencias. Finalmente, la energía ($i^2 \cdot t$) de puesta en servicio se puede comparar con la energía ($i^2 \cdot t$) de la curva fusión mínima para determinar si el fusible opera o no cuando el banco se energice (hay gráficos de curva de fusión mínima y curva de fusión máxima).

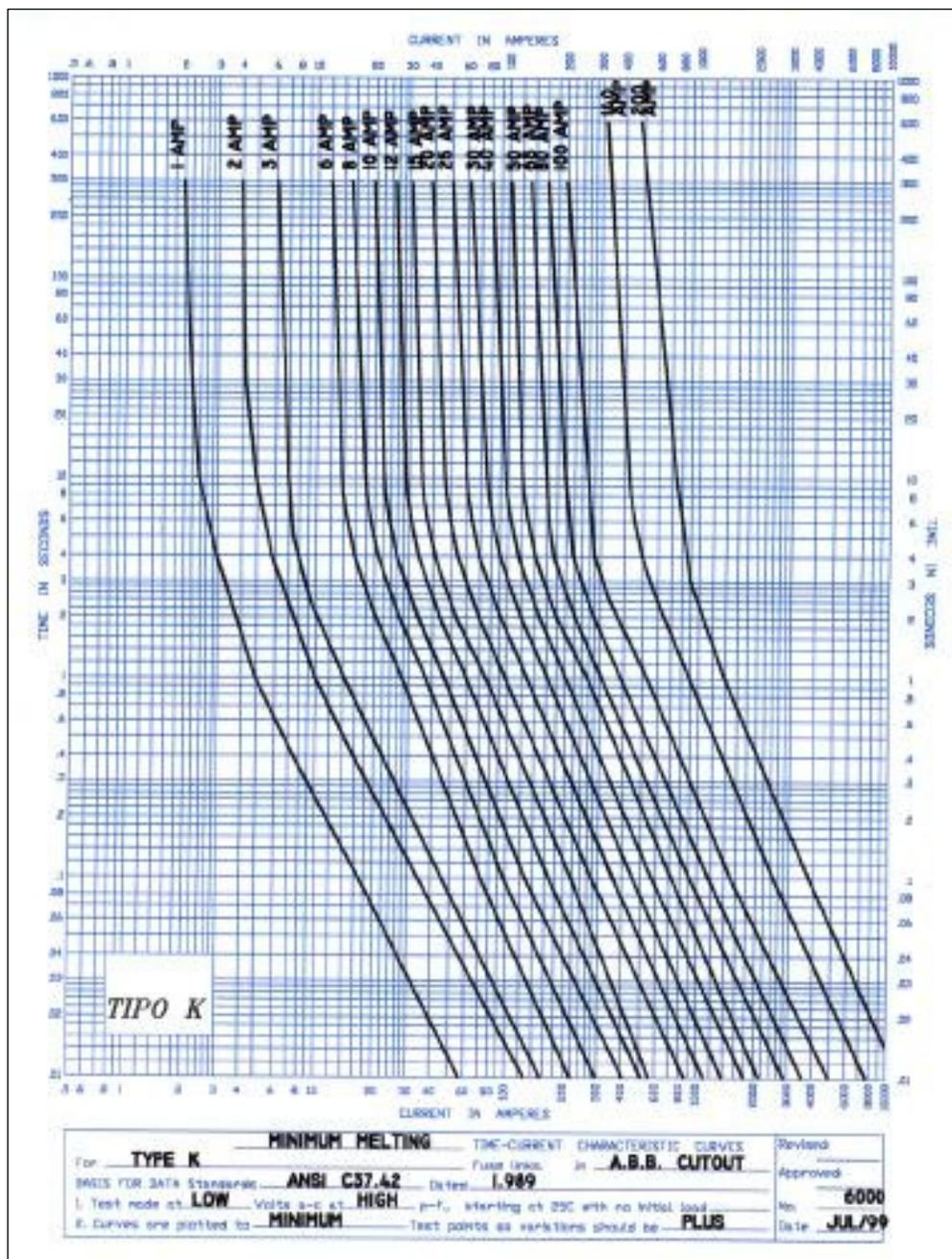


Fig. 18 Curvas de fusión mínima hilos fusibles tipo k de 1 – 200 amperes nominales.

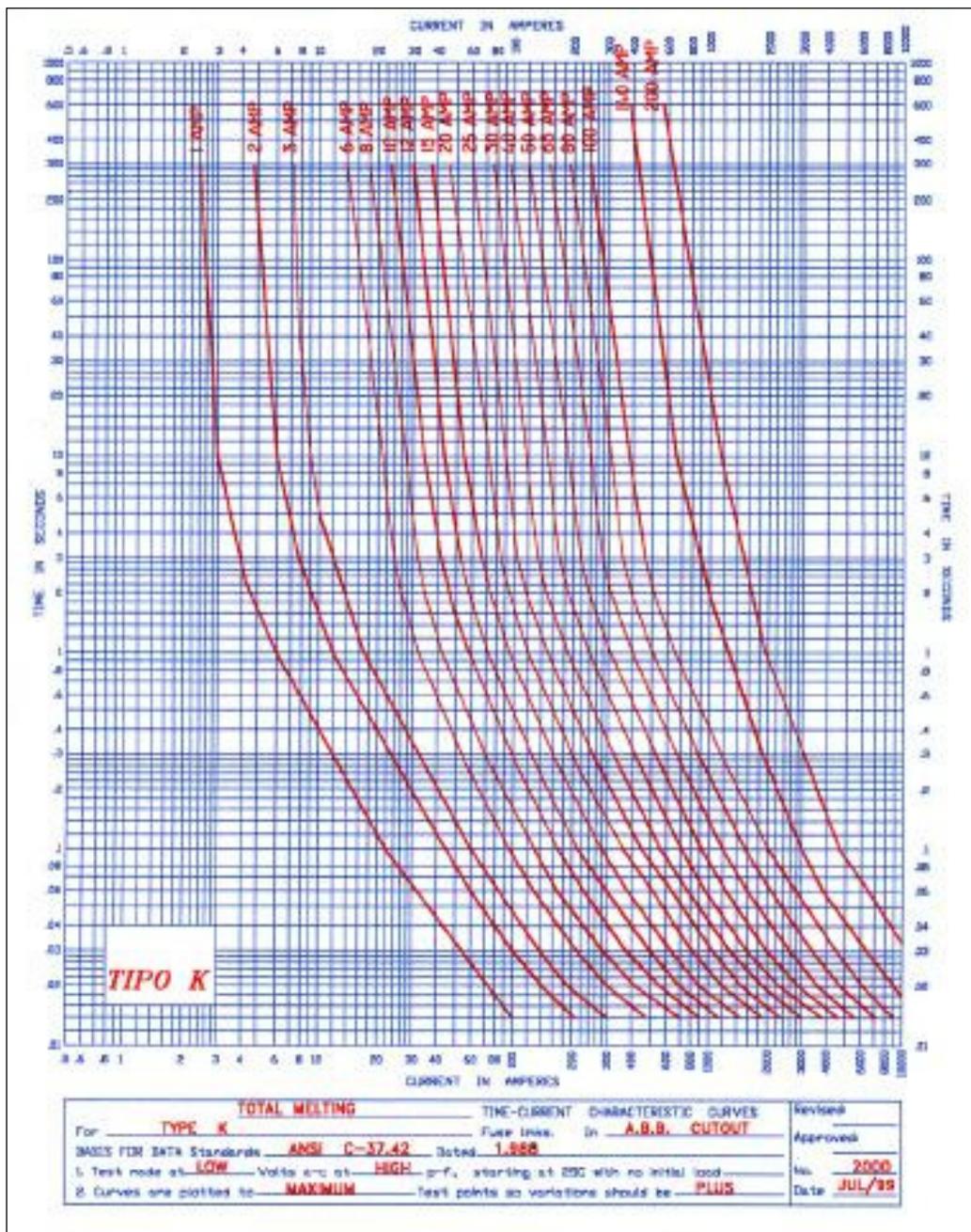


Fig. 19 Curvas de fusión máximas y despeje total hilos fusibles tipo k de 1 – 200 amperes nominales.

La Energía de Ruptura.

El fusible seleccionado no debe permitir que la energía que fluya dentro del tanque sobrepase cierto límite, para prevenir su ruptura. Los límites varían en un rango que va de

$80kA^2 \cdot seg$; hasta $1MA^2 \cdot seg$. En cualquier caso, a medida que aumenta el valor de la $(i^2 \cdot t)$ energía, mayor es la probabilidad de que el tanque se perforo.

Características Tiempo-Corriente de ruptura de tanque.

Existen curvas de probabilidad de ruptura de tanques debido a arcos internos, estas curvas proporcionan de manera gráfica, la relación de corriente de falla y tiempo; para diferentes valores de tiempo - corriente hay cuatro zonas bien definidas (ver figura 20). Con objeto de evitar posibles rupturas, el fusible debe ser coordinado de manera que interrumpa la falla dentro de 300 segundos.

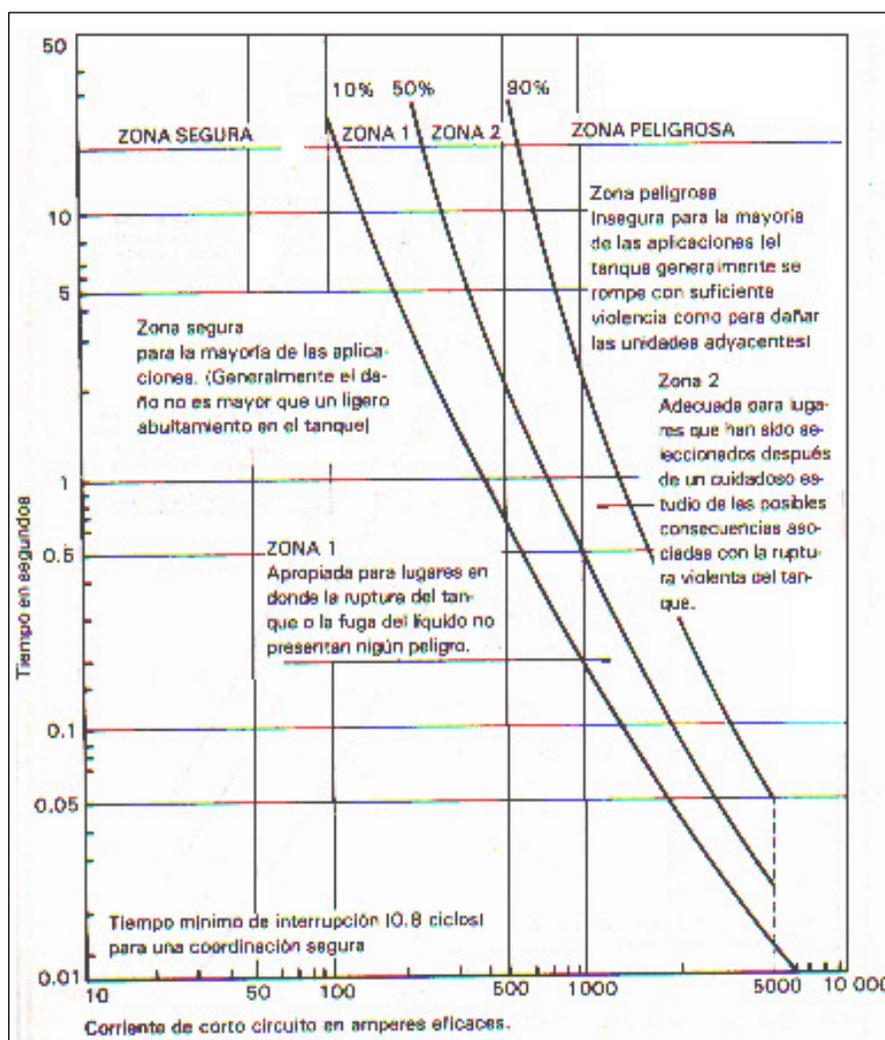


Fig. 20 Curvas de probabilidad de ruptura del tanque para condensadores de 100 kVAr de potencia debido a arco interno.

ANEXO 2

1. Formas de realizar los cálculos para mejorar el factor de potencia

Mediantes cálculo de potencias.

Como se puede apreciar en la figura 2 del Anexo 2, se desea corregir de un Q_1 el cual posee una factor de potencia bajo, a un Q_2 , el cual se encuentra dentro del límite estipulado por la compañía o bien más cercano a este.

De la geometría de un triángulo rectángulo se tiene que:

$$\tan\varphi = \frac{\text{cat. opuesto}}{\text{cat. adyacente}}$$

De lo anterior se deduce:

$$\tan\varphi = \frac{Q}{P} \quad [1]$$

La siguiente tabla muestra las ecuaciones a utilizar para calcular la potencia del condensador a colocar, de acuerdo a la figura 2 del anexo 1:

Tabla 1 Ecuaciones para calculo de potencia del condensador a colocar.

Potencia	Ecuación
Q_1	$P \cdot \tan\varphi_1$
Q_2	$P \cdot \tan\varphi_2$
Q_a colocar	$Q_1 - Q_2$
	$P \cdot (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$

Mediante tabla

La diferencia entre este método y el anterior es que no es necesario realizar tantos cálculos para obtener el factor de potencia mejorado sino que solo basta revisar en tabla 2 el factor de potencia que se tiene y al que se desea mejorar.

En este método se reemplaza la tercera ecuación de la tabla 1 por un factor que se denominara k , por lo tanto la nueva ecuación que se obtiene es:

$$Q_C = k \cdot P \quad [2]$$

donde:

Q_C = Potencia reactiva capacitiva necesaria.

K = factor según tabla.

P = Potencia activa del sistema.

Los cálculos restantes, como la capacidad del condensador, la intensidad de corriente del condensador, la tensión del condensador y la Reactancia del condensador, se realizan de la misma forma que el método anterior.

Tabla 2 Factores de corrección del factor de potencia

Fp original	0,88	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
0,5	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
0,51	1,147	1,174	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
0,52	1,103	1,130	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
0,53	1,060	1,088	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,600
0,54	1,019	1,046	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
0,55	0,979	1,006	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
0,56	0,940	0,967	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
0,57	0,902	0,929	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
0,58	0,865	0,892	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
0,59	0,829	0,856	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
0,6	0,794	0,821	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
0,61	0,759	0,787	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
0,62	0,726	0,753	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
0,63	0,693	0,720	0,748	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
0,64	0,661	0,688	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
0,65	0,629	0,657	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
0,66	0,599	0,626	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
0,67	0,568	0,596	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
0,68	0,539	0,566	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
0,69	0,509	0,537	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
0,7	0,480	0,508	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,71	0,452	0,480	0,508	0,536	0,566	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,72	0,424	0,452	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,73	0,396	0,424	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,74	0,369	0,397	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,75	0,342	0,370	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,76	0,315	0,343	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,77	0,289	0,316	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,78	0,263	0,290	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,79	0,236	0,264	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,525	0,573	0,634	0,776
0,8	0,210	0,238	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,81	0,184	0,212	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,82	0,158	0,186	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,83	0,132	0,160	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,84	0,106	0,134	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,85	0,080	0,107	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,86	0,054	0,081	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,87	0,027	0,054	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,88		0,027	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,89			0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,9				0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
0,91					0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,92						0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
0,93							0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395
0,94								0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
0,95									0,037	0,078	0,126	0,186	0,329
0,96										0,041	0,089	0,149	0,292
0,97											0,048	0,108	0,251

Ejemplo:

Se tiene un sistema el cual consume una potencia activa de 700 [W] con factor de potencia igual a 0.76 (i), este se desea mejorar a 0.96 (i). ¿Cuál debe ser la potencia del condensador a instalar?

a) *Método de cálculos de potencia.*

Para obtener los ángulos es necesario aplicar el \cos^{-1} a los factores de potencia en cuestión:

$$\cos^{-1}(0.76) = 40.53^\circ$$

$$\cos^{-1}(0.96) = 16.26^\circ$$

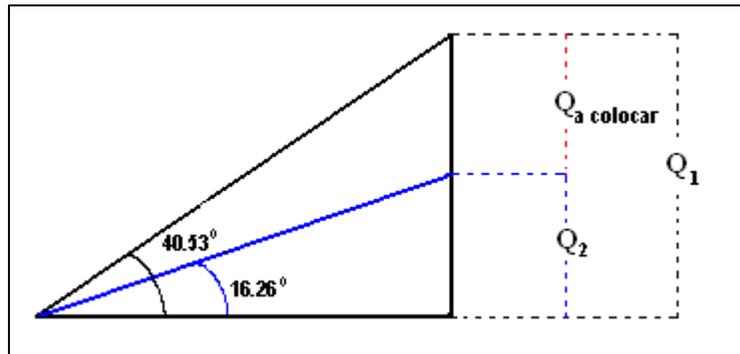


Figura 1 “Triángulo de potencia para ejemplo”

Utilizando las ecuaciones de la tabla 1, se obtienen Q_1 y Q_2 respectivamente.

$$\begin{aligned} Q_1 &= 700 \cdot \tan 40.53 \\ &= 598.49 \approx 598.5[\text{VAr}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= 700 \cdot \tan 16.26 \\ &= 204.16 \approx 204.2[\text{VAr}] \end{aligned}$$

Ahora el Q necesario a instalar se realiza según la tabla 1.

$$\begin{aligned} Q_{A\ COLOCAR} &= 598.5 - 204.2 \\ &= 394.3[VAr] \end{aligned}$$

b) Mediante tabla

Teniendo el factor de potencia original, el factor de potencia al cual se desea mejorar y la potencia activa se puede utilizar la tabla 2 y luego el factor reemplazarlo en la ecuación 2.

En este caso el factor **k** a utilizar es: 0.563.

Y utilizando la ecuación 2 tenemos que el condensador a instalar es:

$$\begin{aligned} Q_{A\ COLOCAR} &= 0.563 \cdot 700 \\ &= 394.1[VAr] \end{aligned}$$

Este resultado es similar al anterior la diferencia entre los dos se provoca por la utilización de decimales o aproximación de resultado.

2. Aclaración de aspectos que se pueden mencionar para una selección mas adecuada del banco de condensadores

Para entender de forma mas clara y fácil, “el por que para formar un banco de condensadores, las unidades en serie proporcionan el nivel de tensión y los paralelos la potencia”, es haciéndolo mediante un ejemplo para tener un análisis practico del tema.

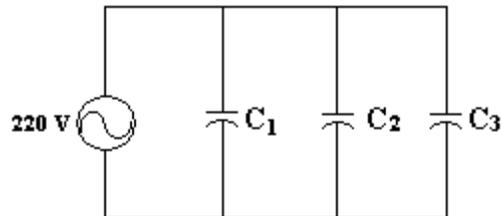
Ejemplo

Para poder explicar lo anterior es necesario realizar un análisis por fase de los siguientes datos:

Se tiene una tensión RMS de: 220 V.

Tres condensadores de la misma capacidad: 100 μ f

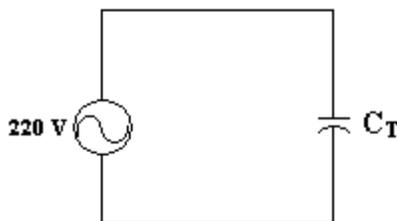
Primero se realizara un análisis por fase y con la conexión en paralelo de los condensadores como lo muestra el siguiente circuito:



Para obtener un circuito equivalente se tener en cuenta que:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 300\mu F$$

Quedando como sigue:



Por lo tanto de este circuito de obtiene la potencia:

$$Q_C = I^2 \cdot X_C$$

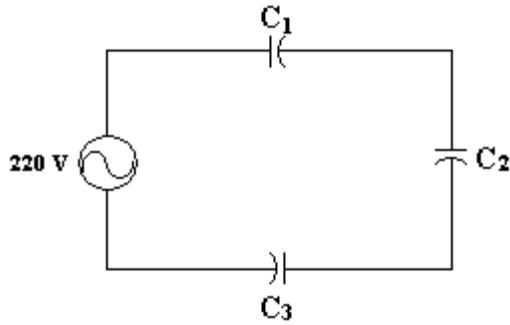
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Por lo tanto se obtienen los siguientes resultados:

$$X_C = 10.61(\Omega)$$

$$Q_C = 4561.4 (VAr)$$

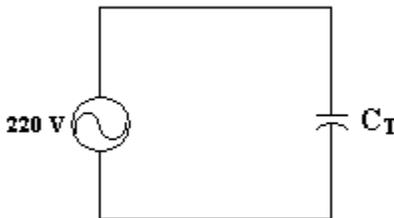
Ahora el análisis para el circuito en serie es el siguiente:



Para obtener el circuito equivalente, se debe realizar lo siguiente:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

Por lo tanto se obtiene el siguiente circuito:



De lo que se obtiene lo siguiente:

$$X_C = 95.5(\Omega)$$

$$Q_C = 506.78(VAr)$$

Por lo tanto por conclusión se obtiene que la conexión serie solo proporciona el nivel de tensión ya que la potencia es mucho menor que en paralelo como se pudo demostrar anteriormente, y la conexión en paralelo proporciona la potencia debido que la tensión es la misma en todos los condensadores, y es mucho mayor como se pudo demostrar.

Anexo 3

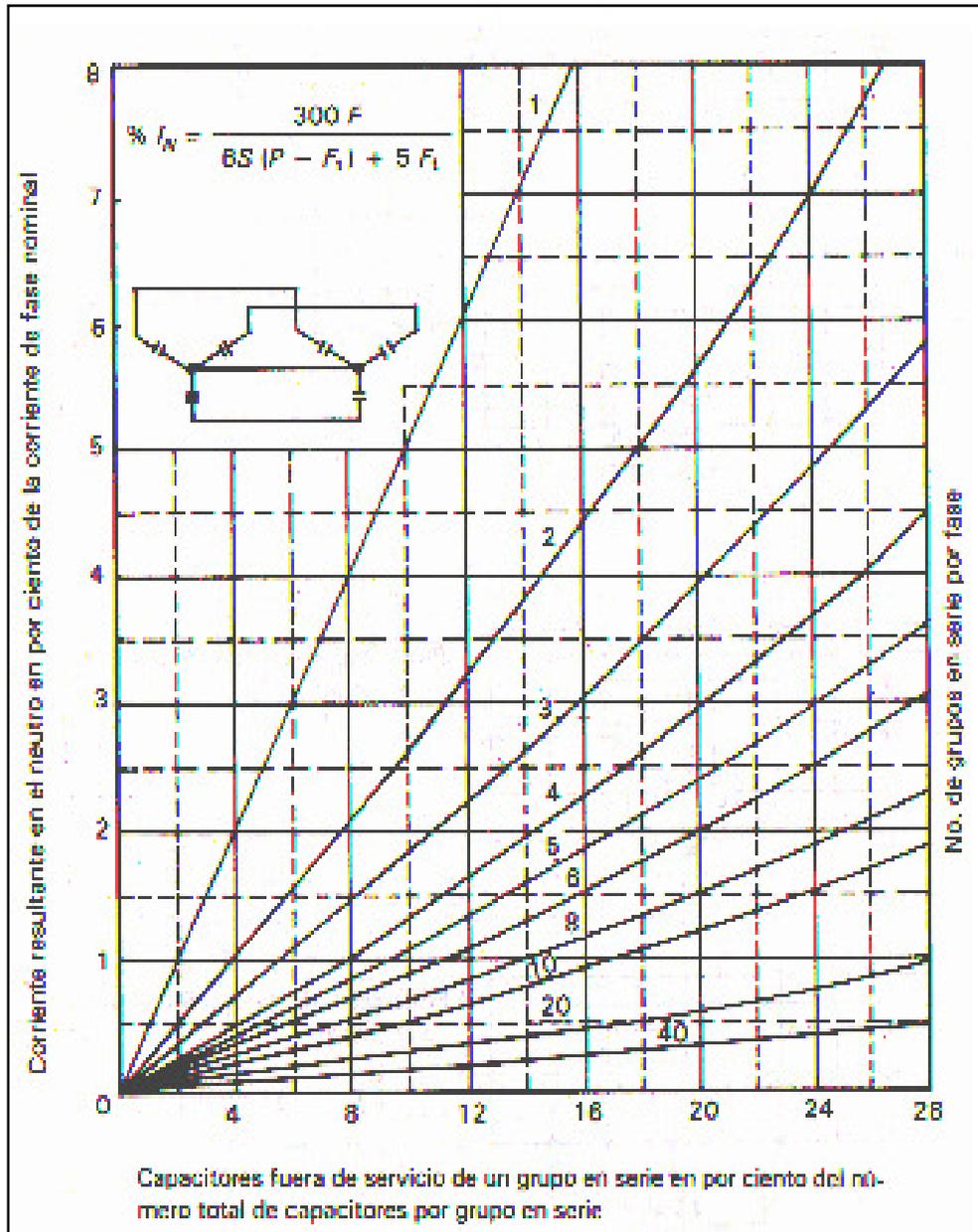


Fig. 1 Banco de condensadores conectados en doble estrella (neutros interconectados): corriente del neutro VS porcentaje de unidades capacitivas eliminadas del grupo serie.

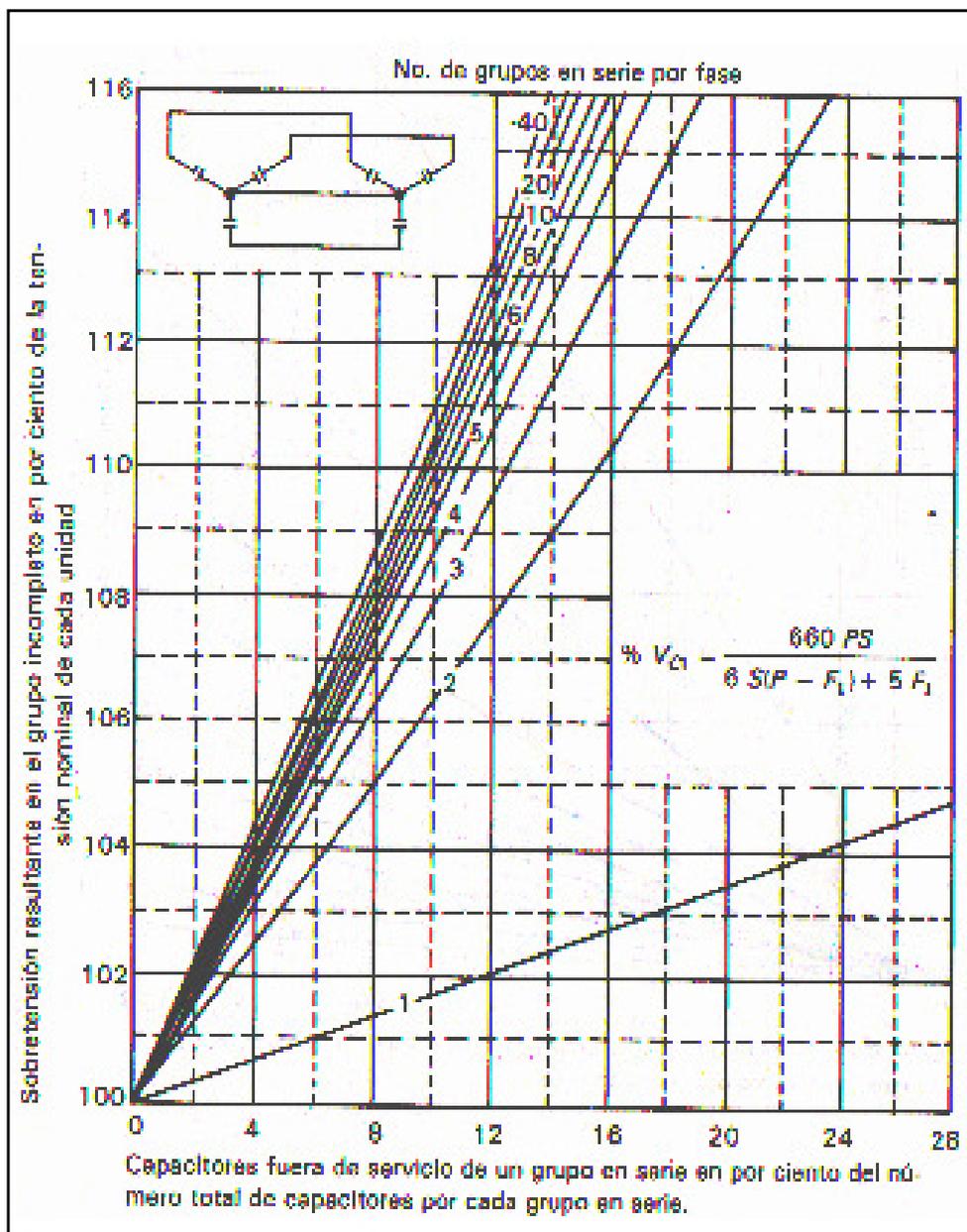


Fig. 2 Banco de condensadores conectados en doble estrella (neutro interconectado): tensión en unidades capacitivas restantes serie VS porcentaje de las unidades capacitivas eliminadas del grupo serie.

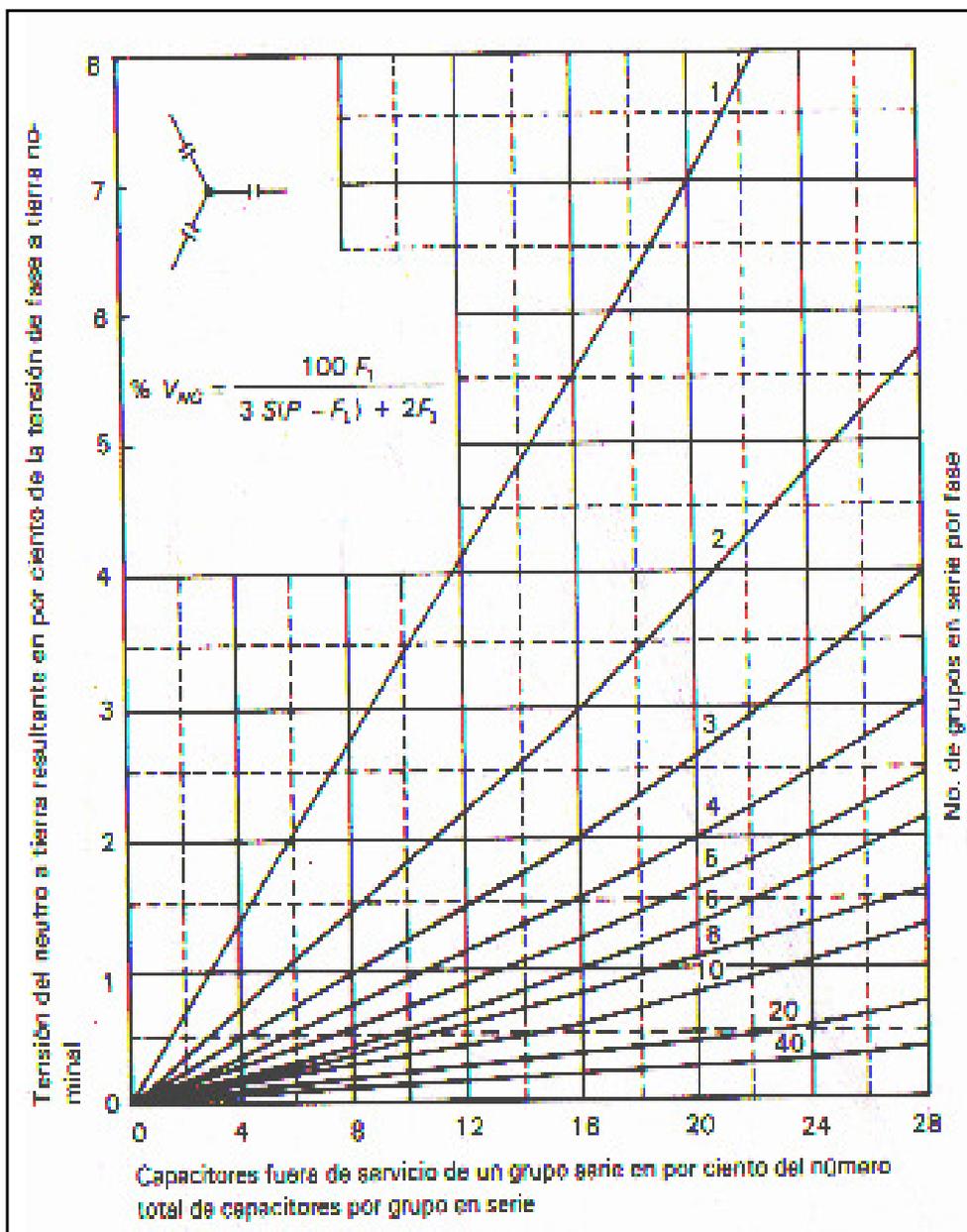


Fig. 3 Banco de condensadores conectados en estrella flotante: tensión entre el banco y la tierra VS porcentaje de las unidades capacitivas eliminadas del grupo serie.

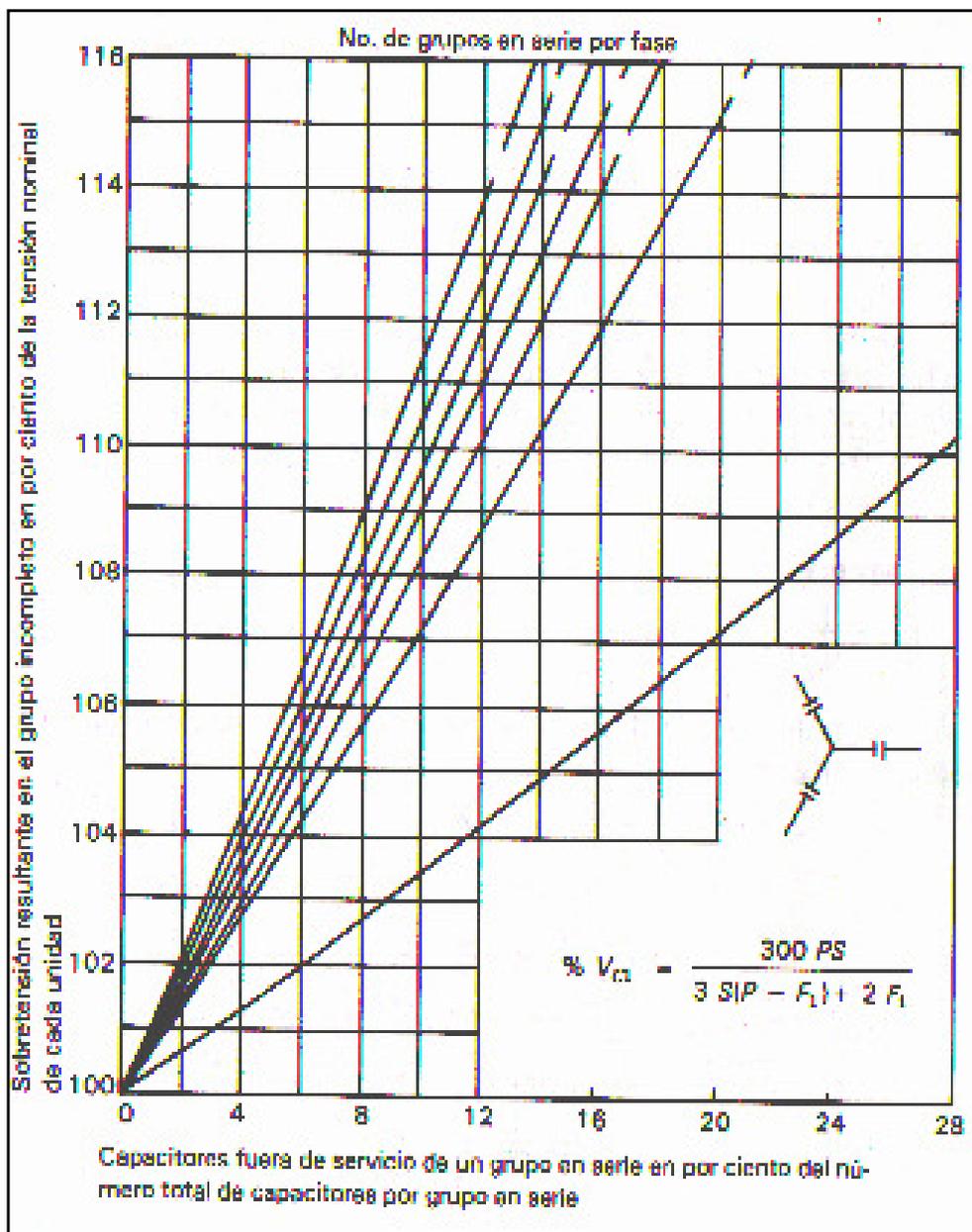


Fig. 4 Banco de condensadores conectados en estrella flotante: tensión en las unidades capacitivas restantes en un grupo serie VS porcentaje de las unidades capacitivas eliminadas del grupo serie.

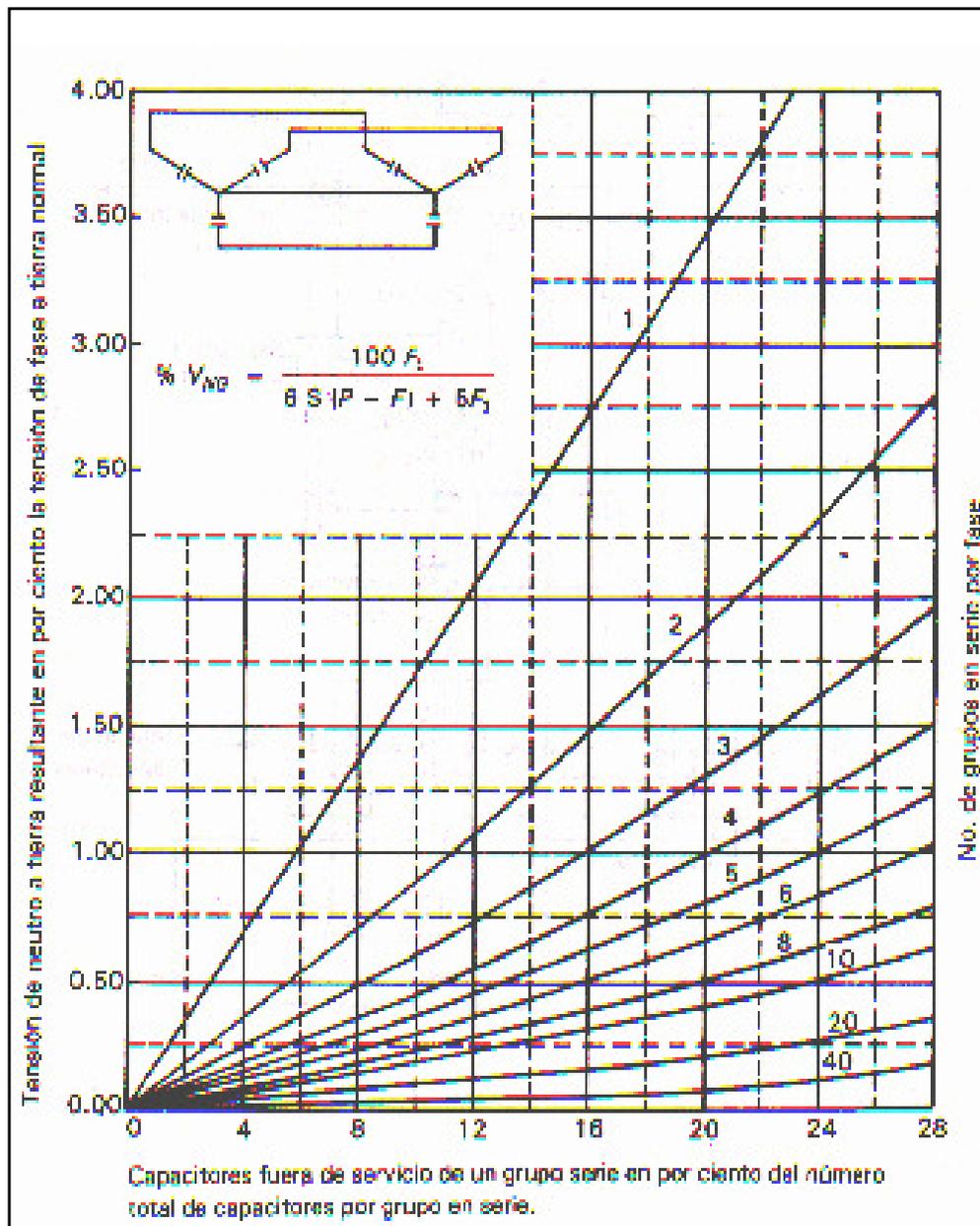


Fig. 5 Banco de condensadores conectado en doble estrella (neutros interconectados): tensión entre el neutro del banco y tierra VS porcentaje de unidades capacitivas eliminadas del grupo serie.

Anexo 4

Tabla 1 Características Técnicas del MES120.

Características					
Módulos MES120/MES120G					
Peso	0,38 kg				
Temperatura de funcionamiento	de - 25°C a +70°C				
Características de entorno	Idénticas a las características de las unidades básicas Sepam				
Entradas lógicas		MES120	MES120G		
Tensión		de 24 a 250 V CC	de 220 a 250 V CC		
Rango		de 19,2 a 275 V CC	de 170 a 275 V CC		
Consumo típico		3 mA	3 mA		
Umbral de basculamiento típico		14 V CC	155 V CC		
Tensión límite de entrada	En estado 0	< 6 V CC	< 144 V CC		
	En estado 1	> 19 V CC	> 170 V CC		
Salida de relé de control					
Tensión	Continua	24/48 V CC	127 V CC	220 V CC	
	Alterna (47,5 a 63 Hz)				100 a 240 V CA
Corriente permanente		8 A	8 A	8 A	8 A
Poder de corte	Carga resistiva	8/4 A	0,7 A	0,3 A	8 A
	Carga L/R < 20 ms	6/2 A	0,5 A	0,2 A	
	Carga L/R < 40 ms	4/1 A	0,2 A	0,1 A	
	Carga cos φ > 0,3				5 A
Poder de cierre		< 15 A durante 200 ms			
Salida de relé de señalización					
Tensión	Continua	24/48 V CC	127 V CC	220 V CC	
	Alterna (47,5 a 63 Hz)				100 a 240 V CA
Corriente permanente		2 A	2 A	2 A	2 A
Poder de corte	Carga L/R < 20 ms	2 / 1 A	0,5 A	0,15 A	
	Carga				1 A
	Carga cos φ > 0,3				

Anexo 5

Tabla 1 Tablas de asignación de entradas al MES120.

Funciones	S80	S81	S82	S84	T81	T82 T87	M87	M81 M88	G87	G82 G88	B80	B83	C86	Asignación
Orden de apertura	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Orden de cierre	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Fusión del fusible del transformador de tensión de fase	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Fusión del fusible del transformador de tensión residual	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Contador externo energía activa positiva	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Contador externo energía activa negativa	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Contador externo energía reactiva positiva	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Contador externo energía reactiva negativa	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Posición desenchufado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Seccionador A cerrado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Seccionador A abierto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Seccionador B cerrado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Seccionador B abierto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Supervisión de bobina en conexión	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Libre
Inhibición reenganchador	■	■	■	■										Libre
Inhibición de la imagen térmica		■	■	■	■	■	■	■	■	■			■	Libre
Cambio de régimen térmico					■	■	■	■	■	■				Libre
Selectividad lógica, recepción EL 1	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Selectividad lógica, recepción EL 2			■	■		■			■	■				Libre
Disparo Buchholz/gas					■	■	■	■	■	■				Libre
Disparo termostato					■	■			■	■				Libre
Disparo presión					■	■	■	■	■	■				Libre
Disparo termostato					■	■	■	■	■	■				Libre
Alarma Buchholz/gas					■	■	■	■	■	■				Libre
Alarma termostato					■	■	■	■	■	■				Libre
Alarma presión					■	■	■	■	■	■				Libre
Alarma termostato					■	■	■	■	■	■				Libre
Medida de velocidad del rotor							■	■	■	■				I104
Detección de rotación del rotor							■	■						Libre
Reaceleración del motor							■	■						Libre
Solicitud de deslastrado							■	■						Libre
Inhibición por mínima corriente							■	■						Libre
Parada del grupo									■	■				Libre
Desactivación									■	■				Libre
Autorización de cierre (ANSI 25)	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Prohibición TI del lado opuesto	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Prohibición TI acoplamiento	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Acoplamiento abierto	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Acoplamiento cerrado	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Lado opuesto abierto	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Lado opuesto cerrado	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Conmutador en Manual (ANSI 43)	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Conmutador en Auto (ANSI 43)	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Conmutador en disyuntor (ANSI 10)	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Conmutador en acoplamiento (ANSI 10)	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Disyuntor del lado opuesto desenchufado	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Disyuntor acoplamiento desenchufado	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Orden de cierre de acoplamiento	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Tensión correcta del lado opuesto	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Enclavamiento de disparo de acoplamiento	■	■	■	■	■	■			■	■	■	■		Libre
Orden de cierre externa 1											■	■		Libre
Orden de cierre externa 2											■	■		Libre

Funciones	S80	S81	S82	S84	T81	T82 T87	M87	M81 M88	G87	G82 G88	B80	B83	C86	Asignación
Apertura paso 1													■	Libre
Apertura paso 2													■	Libre
Apertura paso 3													■	Libre
Apertura paso 4													■	Libre
Control VAR paso 1													■	Libre
Control VAR paso 2													■	Libre
Control VAR paso 3													■	Libre
Control VAR paso 4													■	Libre
Enclavamiento externo de control de paso													■	Libre
Control manual de paso													■	Libre
Control automático de paso													■	Libre
Fusión del fusible fase TT adicional											■	■		Libre
Fusión del fusible TT V0 adicional												■		Libre
Paso 1 abierto													■	Libre
Paso 1 cerrado													■	Libre
Paso 2 abierto													■	Libre
Paso 2 cerrado													■	Libre
Paso 3 abierto													■	Libre
Paso 3 cerrado													■	Libre
Paso 4 abierto													■	Libre

En la siguiente tabla se describen las asignaciones de las entradas lógicas obtenidas desde el software de configuración SFT2841, haciendo clic en el botón "asignación estándar".

Tabla 2 Asignación estándar del MES120.

Funciones	Asignación estándar	Aplicación
Interrupción automático cerrado	I101	Cualquiera
Interrupción automático abierto	I102	Cualquiera
Recepción de espera lógica 1, AL1	I103	Todas excepto M8x
Recepción de espera lógica 2, EL2	I104	Cualquiera excepto S80, S81, T81, M8x, B8x, C86
Autorización de cierre (ANSI 25)	I104	S80, S81, T81, B8x
Fallo de presión SF6	I105	Cualquiera
Orden de apertura	I106	Cualquiera
Orden de cierre	I107	Cualquiera
Inhibición reenganchador	I108	S80, S81
Disparo Buchholz	I108	T8x, M88, G88
Disparo termostato	I109	T8x, M88, G88
Disparo presión	I110	T8x, M88, G88
Disparo termistor	I111	T8x, M88, G88
Alarma Buchholz	I112	T8x, M88, G88
Alarma termostato	I113	T8x, M88, G88
Alarma presión	I114	T8x, M88, G88
Conmutador en interruptor automático (ANSI 10)	I201	S8x, T8x, G8x, B8x
Conmutador en acoplamiento (ANSI 10)	I202	S8x, T8x, G8x, B8x
Conmutador en auto (ANSI 43)	I203	S8x, T8x, G8x, B8x
Conmutador en manual (ANSI 43)	I204	S8x, T8x, G8x, B8x
Lado opuesto cerrado	I205	S8x, T8x, G8x, B8x
Lado opuesto abierto	I206	S8x, T8x, G8x, B8x
Tensión correcta del lado opuesto	I207	S8x, T8x, G8x, B8x
Prohibición TC del lado opuesto (local)	I208	S8x, T8x, G8x, B8x
Orden de cierre automática	I209	S8x, T8x, G8x, B8x
Acoplamiento abierto	I210	S8x, T8x, G8x, B8x
Acoplamiento cerrado	I211	S8x, T8x, G8x, B8x
Enclavamiento de disparo de acoplamiento	I212	S8x, T8x, G8x, B8x
Orden de cierre de acoplamiento	I213	S8x, T8x, G8x, B8x
Prohibición TC de acoplamiento (local)	I214	S8x, T8x, G8x, B8x

Anexo 6

	SINGLE-CHANNEL 6N135, 6N136 HCPL-2503 HCPL-4502	DUAL-CHANNEL HCPL-2530 HCPL-2531	
DESCRIPTION			
The HCPL-4502/HCPL-2503, 6N135/6 and HCPL-2530/HCPL-2531 optocouplers consist of an AlGaAs LED optically coupled to a high speed photodetector transistor.			
A separate connection for the bias of the photodiode improves the speed by several orders of magnitude over conventional phototransistor optocouplers by reducing the base-collector capacitance of the input transistor.			
An internal noise shield provides superior common mode rejection of 10kV/ μ s. An improved package allows superior insulation permitting a 480 V working voltage compared to industry standard of 220 V.			
FEATURES			
<ul style="list-style-type: none"> • High speed-1 Mbit/s • Superior CMR-10 kV/μs • Dual-Channel HCPL-2530/HCPL-2531 • Double working voltage-480V RMS • CTR guaranteed 0-70°C • U.L. recognized (File # E90700) 			
APPLICATIONS			
<ul style="list-style-type: none"> • Line receivers • Pulse transformer replacement • Output interface to CMOS-LSTTL-TTL • Wide bandwidth analog coupling 			
<small>6N135, 6N136, HCPL-2503, HCPL-4502 HCPL-2530/HCPL-2531</small> <small>Pin 7 is not connected in Part Number HCPL-4502</small>			
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)			
Parameter	Symbol	Value	Units
Storage Temperature	T_{STG}	-55 to +125	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
EMITTER			
DC/Average Forward Input Current	Each Channel (Note 1)	I_F (avg)	25 mA
Peak Forward Input Current (50% duty cycle, 1 ms P.W.)	Each Channel (Note 2)	I_F (pk)	50 mA
Peak Transient Input Current ($\leq 1 \mu\text{s}$ P.W., 300 pps)	Each Channel	I_F (trans)	1.0 A
Reverse Input Voltage	Each Channel	V_R	5 V
Input Power Dissipation	(6N135/6N136 and HCPL-2503/4502) Each Channel (Note 3)	P_D	100 mW
	(HCPL-2530/2531) Each Channel (Note 3)		45 mW
DETECTOR			
Average Output Current	Each Channel	I_O (avg)	8 mA
Peak Output Current	Each Channel	I_O (pk)	16 mA
Emitter-Base Reverse Voltage	(6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	V_{EBR}	5 V
Supply Voltage		V_{CC}	-0.5 to 30 V
Output Voltage		V_O	-0.5 to 20 V
Base Current	(6N135, 6N136 and HCPL-2503 only)	I_B	5 mA
Output power dissipation	(6N135, 6N136, HCPL-2503, HCPL-4502) (Note 4)		100 mW
	(HCPL-2530, HCPL-2531) Each Channel	P_D	35 mW

Compuertas Lógicas

Compuerta Lógica NAND

La compuerta más usada en la práctica no es la AND, sino la NAND, que es una AND en serie con un inversor.

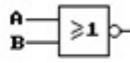
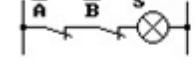
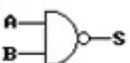
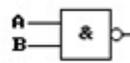
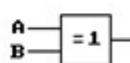
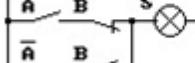
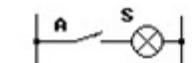
Compuerta Lógica NOR

Es un circuito con dos o más entradas y una sola salida, la cual tendrá el valor verdadero cuando todas las entradas sean falsas. Esta compuerta se forma conectando en serie la salida del NAND con un inversor.

Compuerta Lógica EXCLUSIVE-OR

Es un circuito con dos entradas y una sola salida, la cual tendrá el valor verdadero cuando todas las entradas sean diferentes.

Tabla 1 Compuertas lógicas.

Función	Nombre	Ecuación lógica	Símbolos			Tabla de verdad															
			Norma MIL	Norma IEC	Circuito físico con contactos																
NOR	Disyunción Negada	$S = \overline{A+B}$ $S = \overline{A} \cdot \overline{B}$				<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0
A	B	S																			
0	0	1																			
0	1	0																			
1	0	0																			
1	1	0																			
NAND	Conjunción Negada	$S = \overline{A \cdot B}$ $S = \overline{A} + \overline{B}$				<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	S																			
0	0	1																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	0																			
EXOR	Disyunción Exclusiva	$S = A \oplus B$ $S = A \overline{B} + \overline{A} B$				<table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	A	B	S	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
A	B	S																			
0	0	0																			
0	1	1																			
1	0	1																			
1	1	0																			
EXCI TADOR	IN ↔ OUT	$S = A$				<table border="1"> <tr><td>A</td><td>S</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	A	S	0	0	1	1									
A	S																				
0	0																				
1	1																				

Anexo 7

Tabla 1 Combinaciones posibles de conexión de condensadores con respectivas entradas al MES120.

I113	I105	I106	
Grupo 1 C1 & C4	Grupo 2 C2 & C5	Grupo 3 C3 & C6	SALIDAS
0	0	0	0
6	0	0	6
0	8	0	8
6	8	0	14
0	0	8	8
6	0	8	14
0	8	8	16
6	8	8	22

NOTA: Esta tabla muestra las combinaciones posibles de conexión de condensadores, considerando la formación de grupos de dos, cabe destacar que todos los valores que se muestran en la tabla están en kVAr.

Transformadores de medida razón 50:5

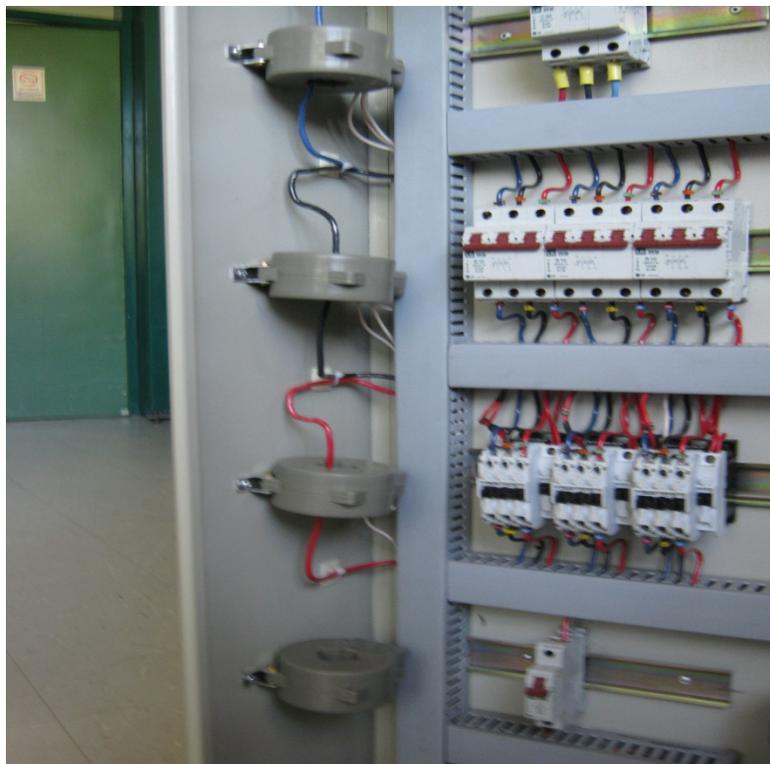


Fig. 1 Transformadores de medida 50/5.

Anexo 8

Alarmas | Histórico de alarmas

Histórico de alarmas

LEDs

<input type="radio"/>									
Defecto	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9

	Fecha	Hora	Unidad	Grupo	Mensaje	Información
	18/12/09	17:59:22.946	Unidad 1	grupo B	SOBRECARGA	Fase 1
	18/12/09	17:55:57.429	Unidad 2	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	17:42:35.774	Unidad 1	grupo B	SOBRECARGA	Fase 3
	18/12/09	17:42:35.774	Unidad 2	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	17:30:33.245	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	17:22:53.618	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	16:13:33.918	Unidad 2	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	16:11:14.787	Unidad 2	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	16:09:46.757	Unidad 2	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	16:07:14.733	Unidad 2	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	16:04:30.711	Unidad 2	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	15:39:44.421	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	15:39:05.110	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	15:33:52.241	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	15:30:21.992	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	12:42:30.610	Unidad 1	grupo B	SOBRECARGA	Fase 1
	18/12/09	12:39:26.079	Unidad 1	grupo B	SOBRECARGA	Fase 1
	18/12/09	12:35:44.463	Unidad 1	grupo B	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	12:27:30.452	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	Fases 1, 2, 3
	18/12/09	12:17:58.028	Unidad 1	grupo A	SOBRECARGA	
	18/12/09	12:15:24.885	Unidad 1	grupo B	SOBRECARGA	Fase 1

Borrar Reset

Fig. 1 Histórico de alarmas.

Osciloperturbografía.

Es un registro evento por evento parametrizable:

- De todos los valores muestreados de las corrientes y tensiones medidas.
- Del estado de todas las entradas y salidas lógicas.
- De información lógica: pick-up, etc.

Tabla 1 Características de la osciloperturbografía.

Características de los registros		
Número de registros en formato COMTRADE	Ajustable de 1 a 19	
Duración total de un registro	Ajustable de 1 a 11 s	
Número de muestras por período	12 o 36	
Duración de la grabación antes de que se produzca el suceso	Ajustable de 0 a 99 períodos	
Capacidad máxima de registro		
Frecuencia de la red	12 muestras por período	36 muestras por período
50 Hz	22 s	7 s
60 Hz	18 s	6 s

Software SFT2826 restablecimiento de los registros de Osciloperturbografía.

El software SFT2826 está incluido en el kit SFT2841 de los softwares Sepam en PC:

- Software en 4 idiomas: inglés, francés, español e italiano.
- Ayuda en línea con descripción de las funciones del software.

Este software permite ver, analizar e imprimir registros de osciloperturbografía realizados por Sepam.

Utiliza archivos con formato COMTRADE (estándar IEEE: Common format for transient

data exchange for power systems).

Transferencia de los registros de osciloperturbografía

Antes del análisis por SFT2826, los registros de osciloperturbografía deben transferirse del Sepam al PC:

- A través del software SFT2841.
- A través de la comunicación Modbus.

Análisis de los registros de osciloperturbografía

- Selección de las señales analógicas y de la información lógica que se va a visualizar.
- Funciones de zoom y de medida del tiempo entre 2 sucesos.
- Visualización de todos los valores numéricos registrados.
- Exportación de los datos en forma de archivo.
- Impresión de las curvas o de los valores numéricos registrados.

Anexo 9

Universidad del Bío-Bío
Dpto. Ingeniería Eléctrica y Electrónica
JCP

GUÍA DE LABORATORIO EXPERIENCIA N° 1

Asignatura: Electivo en Programación y aplicación de protecciones digitales
Código : 410xxx

1. **TÍTULO:** Reconocimiento del hardware: Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador, Relé SEPAM serie 80 y periféricos.

2. **OBJETIVOS**
 - 2.1 Conocer las estructuras, Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador, componente de la interface hombre máquina (IHM), disposición de terminales del Hardware del relé SEPAM serie 80, Tarjeta de comunicación entre Regulador de Potencia Reactiva y MES120
 - 2.2 Conocer la información técnica y contenido de ambos dispositivos.
 - 2.3 Ubicar y ajustar las tensiones auxiliares necesarias para poner en servicio el Relé.

3. **CONOCIMIENTOS PREVIOS**
 - 3.1 Funcionamiento del Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador.
 - 3.2 Funcionamiento de divisores de Tensión y Optoacoplador (6N136).
 - 3.3 Bases para la aplicación de un sistema de protecciones eléctricas a un SEP.
 - 3.4 Conceptos de diseño de protecciones digitales.
 - 3.2 Principio de funcionamiento de protecciones multifuncionales digitales.
 - 3.3 Normas para la aplicación de transformadores de medida en sistemas de protecciones en SEP.

4. **TRABAJO DE LABORATORIO**
 - 4.1 Reconocimiento de Hardware de relé SEPAM serie 80 y Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador.
 - 4.2 Polarización de tensión auxiliar de relé SEPAM serie 80
 - 4.3 Reconocimiento de Interfaces de corriente, del Regulador de Potencia Reactiva y el SEPAM serie 80
 - 4.4 Otras opciones de hardware e interfaces de control y medida del relé SEPAM serie 80.
 - 4.5 Operación y manipulación de los parámetros de las variables de la Interfaz-Hombre-Máquina, IHM del relé SEPAM serie 80.

5. **BIBLIOGRAFÍA**
 - 5.1 Norma ASA C-57, 13-1948.
 - 5.2 Manual PR2D.
 - 5.3 Schneider-Electric, Manual de Usuario 2005, Protección de las Redes Eléctricas SEPAM serie 80, Instalación, Utilización, Puesta en servicio y Mantenimiento.
 - 5.4 Schneider-Electric, Selection guide Communication accessories.
 - 5.5 Schneider-Electric, Protección de las redes Eléctricas SEPAM serie 80, Medidas protecciones y Automatismos, 2005
 - 5.6 www.schneider-Electric.com

Universidad del Bío-Bío
Dpto. Ingeniería Eléctrica y Electrónica
JCP

GUÍA DE LABORATORIO **EXPERIENCIA N° 2**

Asignatura: Electivo en Programación y aplicación de protecciones digitales
Código : 410xxx

- 1. TÍTULO:** Puesta en Marcha del Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador y Parametrización del Relé SEPAM serie 80 para una aplicación de control de un Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador.
- 2. OBJETIVOS**
 - 2.1 Puesta en Marcha del Regulador de Potencia Reactiva y poner en servicio el software SFT2841 serie 80.
 - 2.2 Poner en funcionamiento automático al Regulador de Potencia Reactiva con microprocesador, conocer la información técnica, contenidos de parametrización y comprobación de conexión remota del Sepam serie 80.
 - 2.3 Practicar programación con Ecuaciones Lógicas, Parametrización de relé SEPAM serie 80 en forma remota. realizar análisis de osciloperturbografía extracción de los mismos y simulación de fallas.
- 3. CONOCIMIENTOS PREVIOS**
 - 3.1 Reconocimiento de Hardware de relé SEPAM serie 80 y Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador y Tarjeta de comunicación.
 - 3.2 Polarización de tensión auxiliar de relé SEPAM serie 80.
 - 3.3 Reconocimiento de Interfaces de corriente, del Regulador de Potencia Reactiva y el SEPAM serie 80.
 - 3.4 Características de funcionamiento y técnicas del MES120.
- 4. TRABAJO DE LABORATORIO**
 - 4.1 Poner en servicio el Regulador de Potencia Reactiva y activación de interface PC-Relé
 - 4.2 Seteo del Relé para una aplicación de control de un Regulador de Potencia Reactiva con Microprocesador:
 - 4.2.1 Configuración de Hardware.
 - 4.2.2 Configuración de características generales.
 - 4.2.3 Asignación de Entradas y Salidas.
 - 4.2.4 Sensores TI/TT.
 - 4.2.5 Seteo de unidades activas y Umbral de corriente.
 - 4.3 Operación del Editor de ecuaciones lógicas
 - 4.3.1 Insertar Ecuaciones lógicas a través de Editar ayuda.
 - 4.3.2 Verificar funcionalidad de la programación a través de la tecla verificar ecuaciones del SFT2841.
 - 4.4 Realizar simulación de Fallas a través de parametrización con las cargas que se encuentran en laboratorio.
 - 4.4.1 Verificar Alarmas e Historial de Alarmas.
 - 4.5 Realizar un análisis de Osciloperturbografía a través del SFT2841.
 - 4.5.1 Extraer archivos de osciloperturbografía y visualizarlos a través de SFT2826.
- 5. BIBLIOGRAFÍA**
 - 5.7 Schneider-Electric, Manual de Usuario 2005, Protección de las Redes Eléctricas SEPAM serie 80, Instalación, Utilización, Puesta en servicio y Mantenimiento. Pág.64-77
 - 5.8 Schneider-Electric, Selection guide Communication accessories.
 - 5.9 Schneider-Electric, Protección de las redes Eléctricas SEPAM serie 80, Medidas protecciones y Automatismos, 2005
 - 5.10 www.schneider-electric.com
 - 5.11 Manual PR2D.

Anexo 10

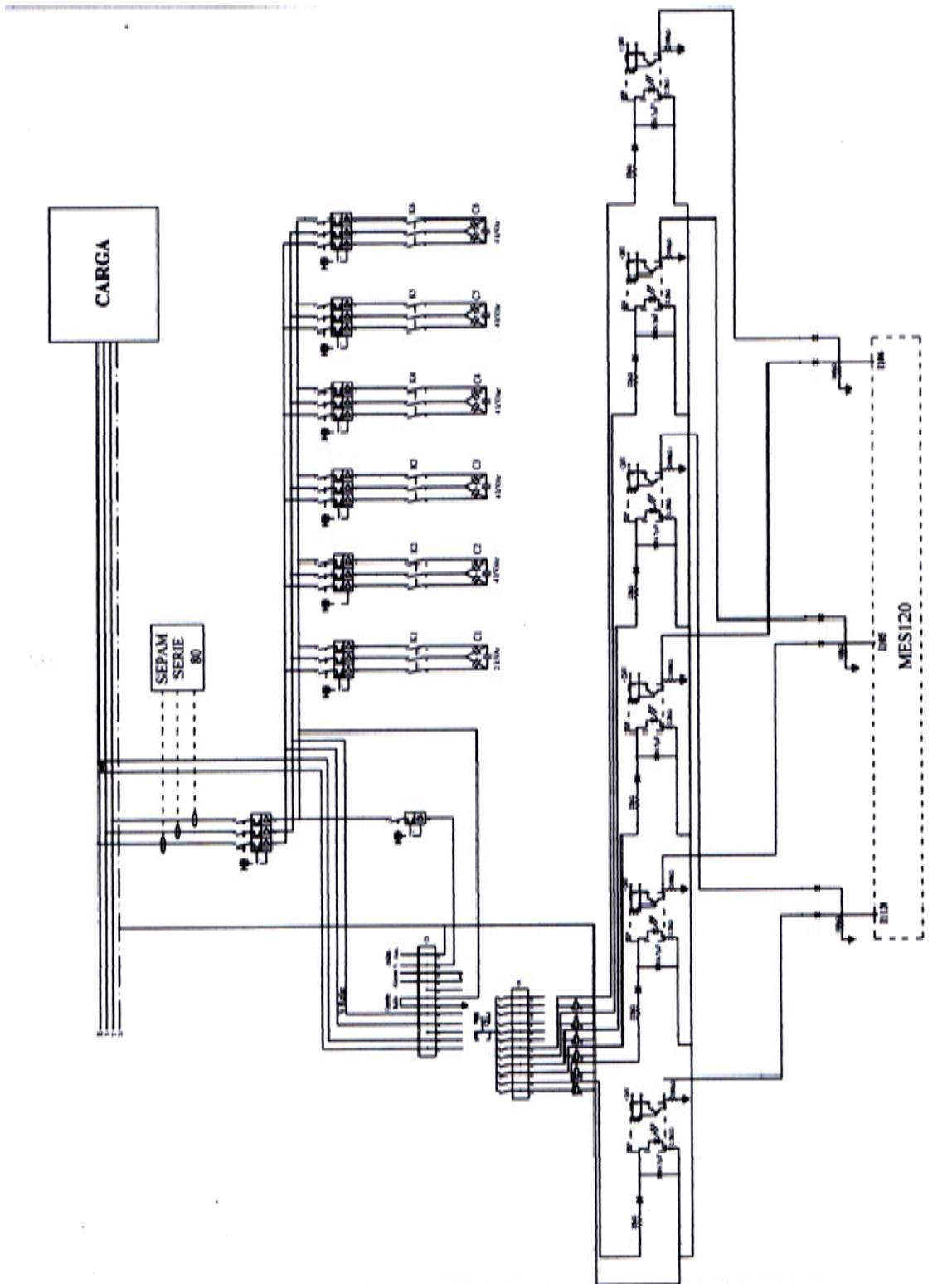


Fig. 1 Conexión general de los dispositivos