

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR CORRECTOR FACTOR DE
POTENCIA AUTOMÁTICO**

**HUGO LEÓN GARCÍA CARDEÑO
JUAN FERNANDO BEDOYA GALLEGO
JOSE GERARDO RODRIGUEZ CUELLAR**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÈCTRICA
MEDELLÌN
2013**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR CORRECTOR FACTOR DE
POTENCIA AUTOMÁTICO**

**IVAN DARIO URIBE RENDON
HUGO LEÓN GARCÍA CARDEÑO
JOSE GERARDO RODRIGUEZ CUELLAR**

Trabajo de grado para optar al Título de Ingeniero en Eléctrica

**Asesor: ELKÍN DARIO PÉREZ RAMÍREZ
Ingeniero en Eléctrica**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÈCTRICA
MEDELLÌN
2013**

CONTENIDO

		Pág.
	INTRODUCCIÓN	11
1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
2	JUSTIFICACIÓN	13
3	OBJETIVOS	14
3.1	OBJETIVO GENERAL	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
4	MARCO TEÓRICO	15
4.1	TABLEROS ELÉCTRICOS	15
4.1.1	Tipos de tableros eléctricos	16
4.1.1.2	Caja o gabinete individual de medidor	16
4.1.1.3	Tablero Principal de distribución	17
4.1.1.4	Tablero o gabinete colectivo de medidores	18
4.1.2	Según su ubicación y función	19
4.1.3	De acuerdo al uso de la energía eléctrica	20
4.2	CARGA ELÉCTRICA	21

4.3	SIMULADOR CORRECTOR FACTOR DE POTENCIA AUTOMÁTICO	22
4.4	RELE CORRECTOR FACTOR DE POTENCIA 5LSA-230 ICAR	23
4.5	RESISTENCIA DE PREINSERCIÓN	24
4.6	EL CONTACTOR	26
4.6.1	Partes constitutivas	28
4.6.2	Contactos Principales	30
4.6.3	Funcionamiento	30
4.6.4	Clasificación	31
4.6.5	Ventajas	32
4.6.6	Criterios de Selección	32
4.6.7	El núcleo o la armadura	33
4.7	BREAKER TERMOMAGNÉTICO	34
4.7.1	Curvas de disparo	37
4.8	CONDENSADOR CILINDRICO	40
4.9	FACTOR DE POTENCIA	43
4.9.1	Potencia aparente	43
4.9.2	Potencia activa	44
4.9.3	Potencia reactiva	44
4.9.4	Porque existe un bajo factor de potencia	48

4.9.5	Porque se penaliza el bajo factor de potencia	49
4.9.6	Ventajas de la corrección del factor de potencia	50
4.9.7	Como mejorar el factor de potencia	51
4.9.8	Condensadores eléctricos estáticos	53
4.9.9	Motores sincrónicos	55
4.9.10	Como determinar los condensadores necesarios	55
4.9.11	Localización de condensadores y motores sincrónicos	59
4.9.12	Compensación individual	60
4.9.12.1	Transformadores	60
4.9.12.2	Motores trifásicos	61
4.9.13	Lámparas fluorescentes	62
4.9.13.1	Compensación por grupos	62
4.9.13.2	Compensación central con sistema de regulación	63
4.9.14	Aspectos para la instalación y operación de los condensadores	66
4.9.15	Ventajas técnico económicas del aumento del factor de potencia	74
4.9.15.1	Ahorro en el pago de la factura de electricidad	74
4.9.15.2	Mejora de la eficiencia eléctrica	77
4.9.15.3	Liberación de capacidad del sistema	75
4.9.15.4	Mejoramiento de las condiciones de voltaje	76
4.9.15.5	Reducción de las pérdidas de potencia	76

5	METODOLOGÍA	78
5.1	TIPO DE PROYECTO	78
5.2	MÉTODO	78
5.2.1	Método inductivo	78
5.3	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	78
5.4	ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR EL PROYECTO	79
6	RESULTADOS DEL PROYECTO	81
7	CONCLUSIONES	84
8	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	86
	CIBERGRAFÍA	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Gabinete individual del medidor	16
Figura 2. Tablero principal de distribución	17
Figura 3. Gabinete colectivo de medidores	18
Figura 4. Tableros principales o generales	19
Figura 5. Tableros de alumbrado, fuerza, calefacción, Control y señalización	21
Figura 6. Simulador corrector factor de potencia	22
Figura 7. Relé corrector factor de potencia	23
Figura 8. Contactador con resistencias de pre-inserción	25
Figura 9. Breaker de protección general	34
Figura 10. Breaker de protección capacitores	35
Figura 11. Breaker de protección de control	36
Figura 12. Curvas de disparo 125A	37
Figura 13. Curvas de disparo 20A	38
Figura 14. Curvas de disparo 6A	39
Figura 15. Condensador	42
Figura 16. Triángulo de potencias	45

Figura 17.	Tabla de factor de potencia	52
Figura 18.	Gráfica de potencias	53
Figura 19.	Simulador corrector factor de potencia automático	82
Figura 20.	Simulador corrector factor de potencia automático	83

GLOSARIO

Breaker: Interruptor termo magnético, diseñado para proteger al conductor eléctrico.

Relé corrector: Controlador diseñado para programar las funciones para manejar los contactores de un corrector factor de potencia automático.

Contactador con Resistencias de pre inserción: Interruptor de potencia controlado a distancia y con resistencias para amortiguar la corriente al conectar el condensador.

Condensador: Elemento que almacena energía.

RESUMEN

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo, a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc... Este carácter reactivo obliga que junto a la potencia activa (KW) exista una potencia llamada Reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinen el comportamiento operacional de dichos equipos y motores.

Esta potencia reactiva que es generada al interior de las industrias tiene que ser controlada para que no salga a las redes porque esto ocasiona necesidades de ajuste en capacidades mayores de los equipos generadores y redes de transporte.

Todas estas cargas industriales que generan energía reactiva tiene que ser compensadas con bancos correctores factores de potencia, los cuales se encargan de corregir esa energía reactiva para que no salga a las redes del operador de red.

Un correcto aprovechamiento de la energía eléctrica es lo que llamamos "Factor de Potencia" y para tener un buen factor de potencia tenemos que hacer los cálculos necesarios para instalar condensadores que compensen esa energía reactiva que se genera por los motores eléctricos.

Se pueden instalar condensadores independientes para cada equipo o bancos correctores automáticos calculados para la red interna de una industria.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los costos de operación de las industrias se incrementan continuamente. La energía, un recurso fundamental para el progreso y la expansión industrial, no escapa a la tendencia del incremento de su costo, pues el recurso energético más usado, los hidrocarburos, presenta una situación de agotamiento gradual que lo hace día a día más costoso.

Esta situación ha llevado a la industria eléctrica a la definición de políticas que conlleven a un uso más racional y eficiente de la energía eléctrica.

Una de las medidas al alcance del industrial para conocer el grado de eficiencia con el cual está utilizando dicha energía es el llamado factor de potencia, el cual ha sido tomado muy en cuenta dentro de los programas tendientes a la mejor utilización de la electricidad y del cual se hablará en el presente trabajo.

Este proyecto brinda al estudiante una ilustración práctica de un corrector factor de potencia automático de carga eléctrica controlada por un módulo ICAR, en el cual se podrá visualizar la parte constructiva y todos los elementos necesarios para un banco automático de capacitores.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los talleres de máquinas eléctricas de la Institución Universitaria Pascual Bravo ubicada en el barrio Robledo del municipio de Medellín en el departamento de Antioquia, se hace necesario contar con los recursos didácticos para la formación teórico práctica de los alumnos. Una de las formas de lograr lo anterior es tener en los talleres un tablero didáctico de un simulador corrector factor de potencia automático.

La falta de estos módulos didácticos se da por la carencia de recursos económicos aportados por el gobierno a las entidades educativas públicas, que permitan unas mejores locaciones físicas dotadas con los elementos necesarios de un laboratorio.

La necesidad vigente en los talleres de máquinas de la Institución Universitaria Pascual Bravo, es la falta de material didáctico como lo es el corrector factor de potencia automático, para las prácticas de electricidad, cuya necesidad la evaluamos desde febrero de 2009 hasta febrero de 2012.

2 JUSTIFICACIÓN

El propósito de este proyecto es el suministro de un tablero didáctico simulador corrector factor de potencia automático para la utilización con fines educativos en la institución.

Con este proyecto se brindara al estudiante la posibilidad de analizar, diseñar e implementar sistemas de correctores factores de potencia automáticos, que se requieren en el medio industrial y comercial, también adquieren la facultad para intervenir y mejorar sistemas ya existentes.

La principal necesidad que se busca resolver con este proyecto es el mejoramiento de la parte didáctica de los talleres eléctricos de la Institución Universitaria Pascual Bravo, para que esta institución pueda seguir ofreciendo a los alumnos un buen nivel académico.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Implementación de un simulador corrector factor de potencia automático.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar sobre los problemas de la energía reactiva que se presentan en los sistemas eléctricos en la industria en general y el cómo solucionarlos.

4 MARCO TEORICO

En la implementación de este proyecto se requiere del conocimiento y entendimiento óptimo de los siguientes temas:

4.1 TABLEROS ELÉCTRICOS¹

Un tablero eléctrico es una caja o gabinete que contiene los dispositivos de conexión, maniobra, comando, medición, protección, alarma y señalización, con sus cubiertas y soportes correspondientes, para cumplir una función específica dentro de un sistema eléctrico.

La fabricación o ensamblaje de un tablero eléctrico debe cumplir criterios de diseño y normativas que permitan su funcionamiento correcto una vez energizado, garantizando la seguridad de los operarios y de las instalaciones en las cuales se encuentran ubicados.

En Colombia se deben tener en cuenta la norma 2050 y se debe cumplir con el reglamento técnico de instalaciones eléctricas “RETIE”.

¹ NIELSSON, James Circuitos Eléctricos, Washington: Prentice-Hall, 1980. v7, p. 350.

4.1.1 Tipos de tableros eléctricos

De acuerdo con la ubicación en la instalación, los tableros reciben las designaciones siguientes:

4.1.1.2 Caja o gabinete individual del medidor²

Es aquel al que acomete el circuito de alimentación y que contiene el medidor de energía desde donde parte el circuito principal. Esta caja o gabinete puede contener además, medios de maniobra, protección y control pertenecientes al circuito de alimentación.

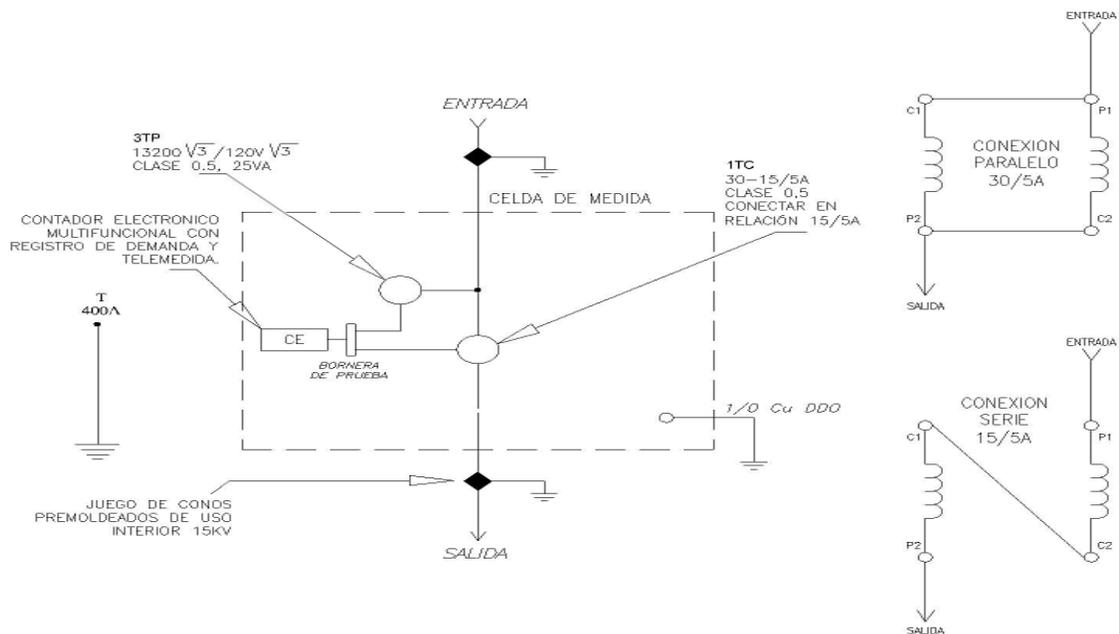


Figura 1. Gabinete individual del medidor.

² Electric Systems ACRC “Advanced Electric Configuration”, Manual Avanzado de configuración de redes electricas.1992. p. 58.

4.1.1.3 Tablero principal de distribución³.

Es aquel que se conecta a la línea principal y que contiene el interruptor principal y del cual se derivan el (los) circuito (s) secundarios.

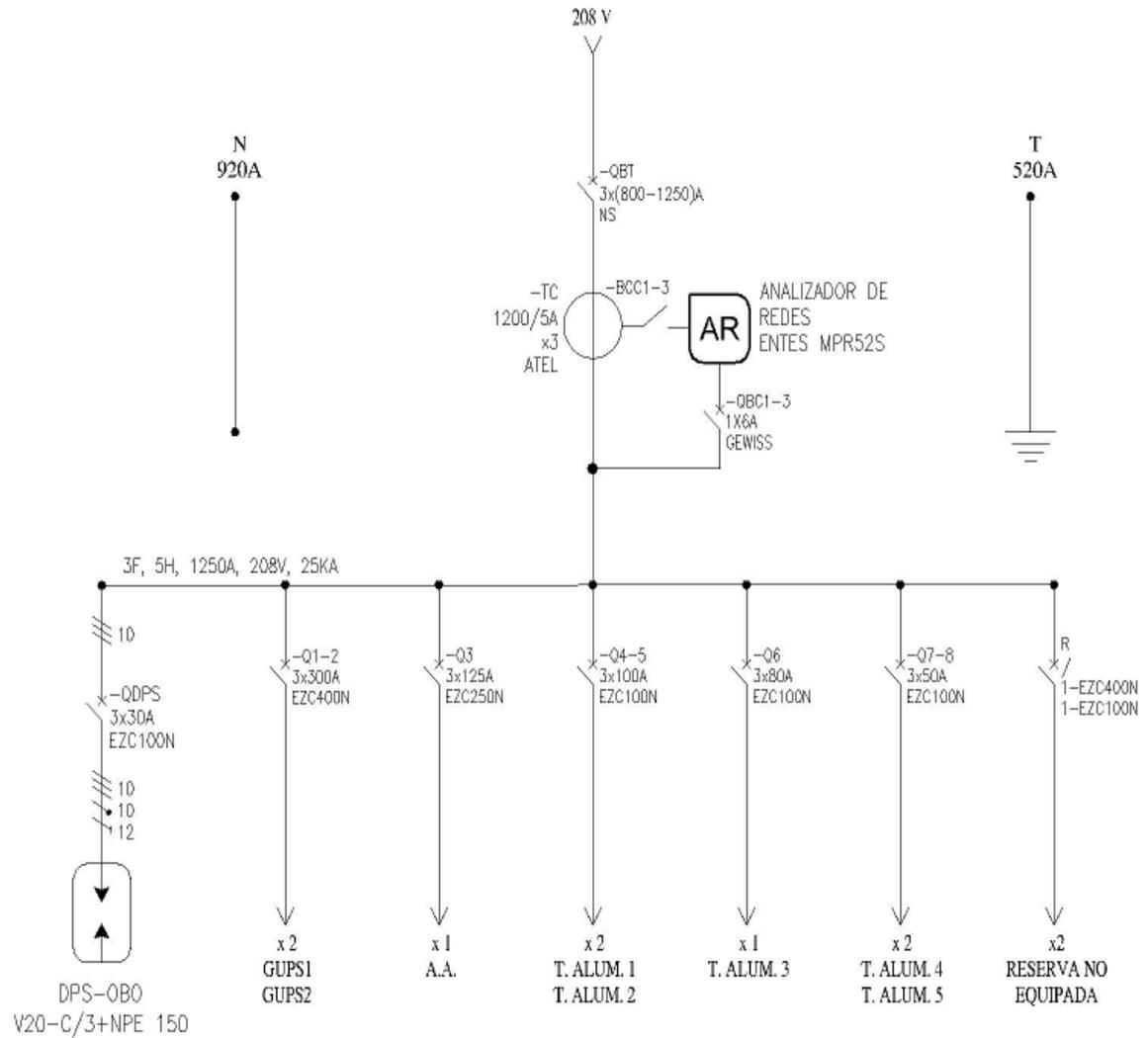


Figura 2. Tablero principal de distribución.

³ *Ibíd.*, p. 60.

4.1.1.4 Tablero o gabinete colectivo de medidores⁴

Es aquel en que se aloja el circuito de alimentación que contiene los medidores de energía y los circuitos principales. Este tablero puede contener a los dispositivos de maniobra, protección y control pertenecientes al circuito de alimentación y a los interruptores principales pertenecientes a la instalación del inmueble.

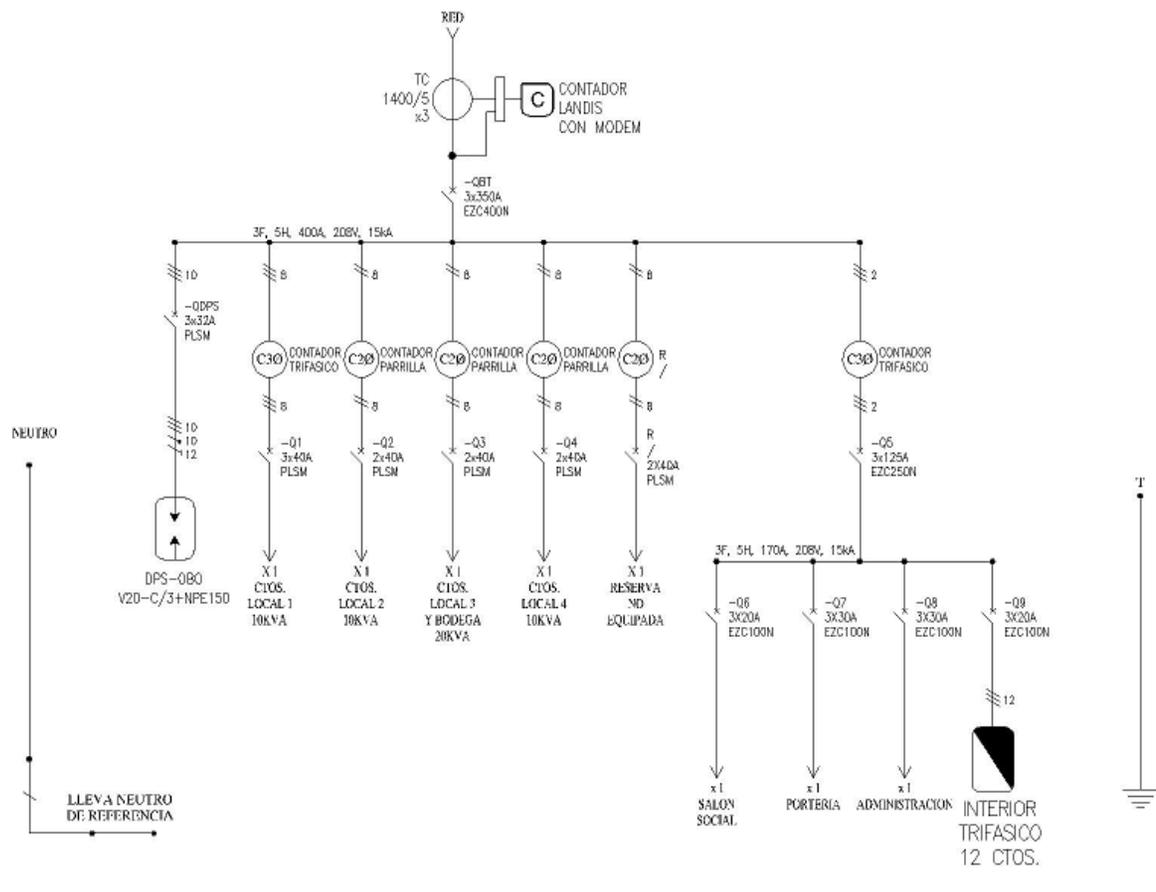


Figura 3. Gabinete colectivo de medidores.

⁴ Electric Systems. ICRC "Introduction Electric Configuration". Manual de Introducción a la configuración de redes eléctricas. 1999. p. 50.

4.1.2 Según su ubicación y función⁵

Se tienen los tableros principales o generales como son las subestaciones en los cuales estarán montados los dispositivos de protección y maniobra que protegen los tableros alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación en forma conjunta o fraccionada.

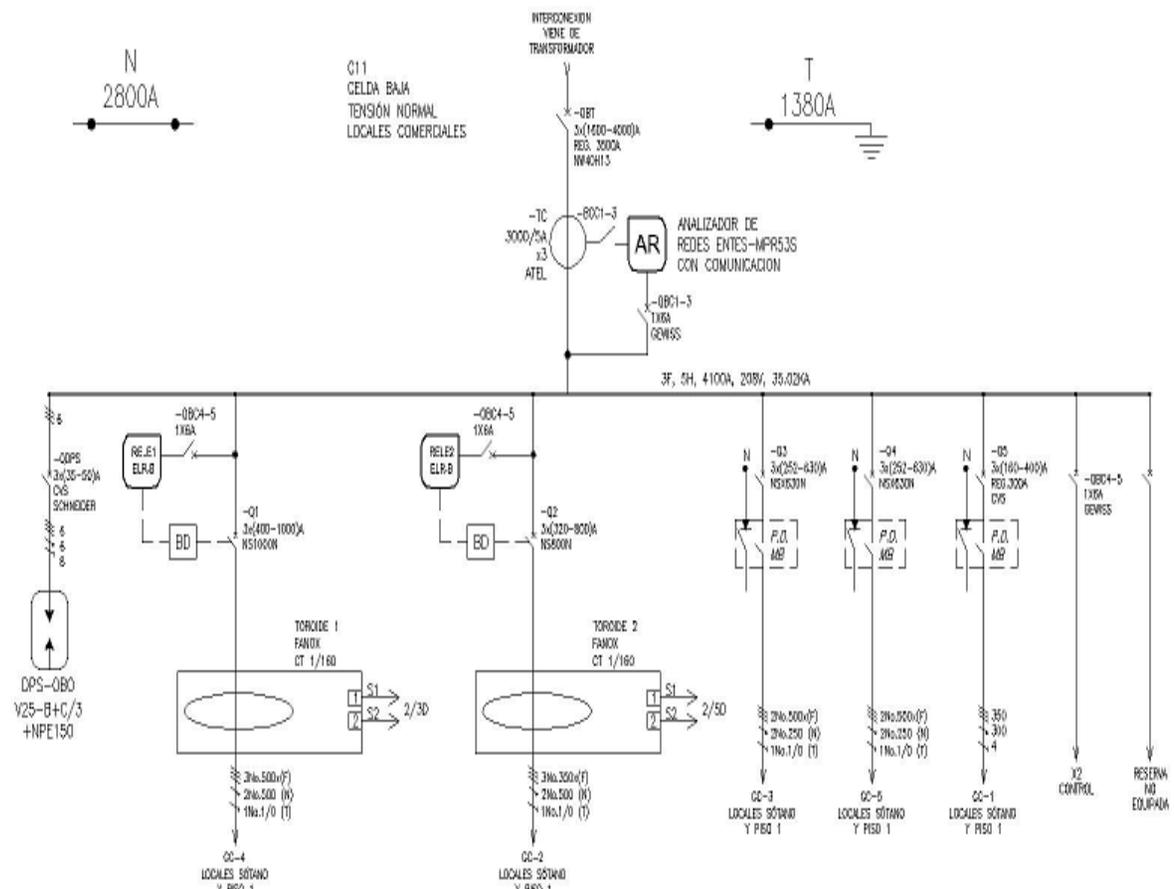


Figura 4. Tableros principales o generales.

⁵ *Ibíd.*, p. 52-53.

Los alimentadores a la vez alimentan tableros sub.-alimentadores que alimentan tableros de distribución.

Los tableros de distribución contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar directamente los circuitos en que está dividida la instalación o una parte de ella.

Los tableros de comandos contienen dispositivos de protección y maniobra que permiten proteger y operar en forma simultánea sobre artefactos individuales o grupos de artefactos pertenecientes a un mismo circuito.

Los tableros de centro de control contienen dispositivos de protección y de maniobra o únicamente dispositivos de maniobra y permiten la operación de grupos de artefactos en forma individual, en conjunto, en sub.-grupos en forma programada o no programada.

4.1.3 De acuerdo al uso de la energía eléctrica⁶

Se tienen tableros de alumbrado, fuerza, calefacción, control y señalización.

⁶ Electric Systems ACRC “Advanced Electric Configuration”, Manual Avanzado de configuración de redes electricas.1992. p. 82.

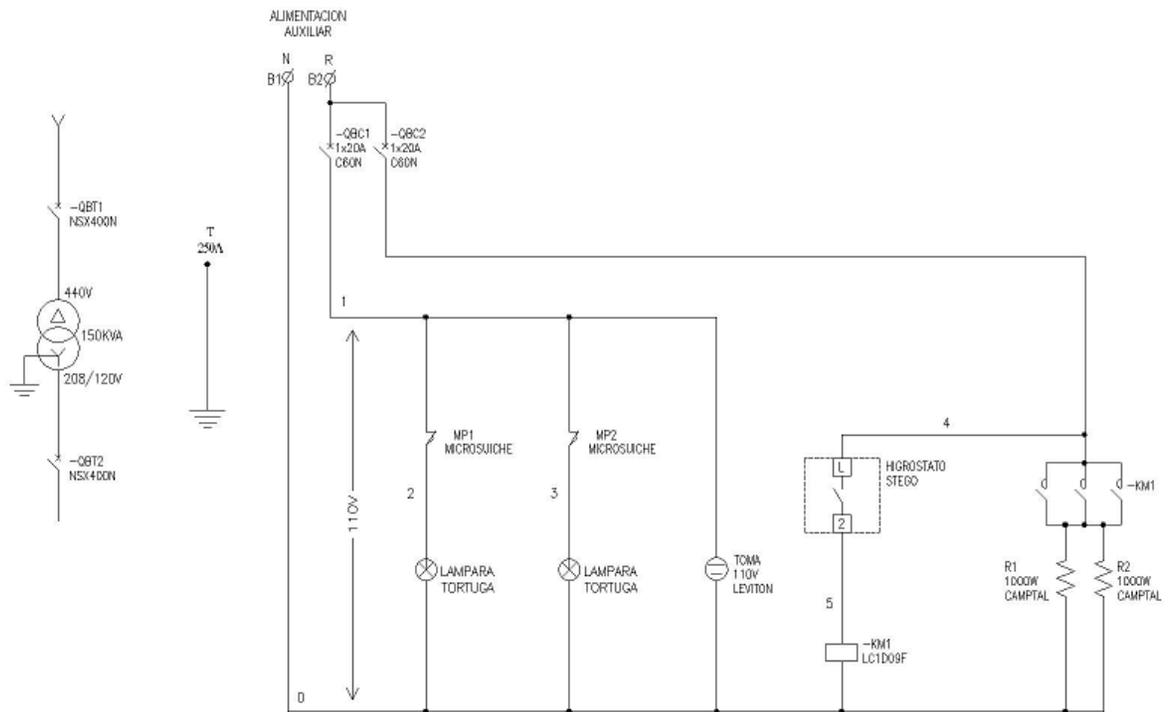


Figura 5. Tableros de alumbrado, fuerza, calefacción, control y señalización.

4.2 CARGA ELÉCTRICA⁷

En física, la carga eléctrica es una propiedad intrínseca de algunas partículas subatómicas (pérdida o ganancia de electrones) que se manifiesta mediante atracciones y repulsiones que determinan las interacciones electromagnéticas entre ellas. La materia cargada eléctricamente es influida por los campos electromagnéticos siendo, a su vez, generadora de ellos. La interacción

⁷ HAYT, J.R Análisis de Circuitos en Ingeniería, México: Aguilar, 1984. v.6, p. 45.

entrega y campo eléctrico origina una de las cuatro interacciones fundamentales: la interacción electromagnética.

4.3 SIMULADOR CORRECTOR FACTOR DE POTENCIA AUTOMÁTICO⁸

Es un tablero que permite la operación automática de un corrector factor de potencia aplicado a cualquier instalación que requiera la corrección de los reactivos generados por los motores eléctricos.

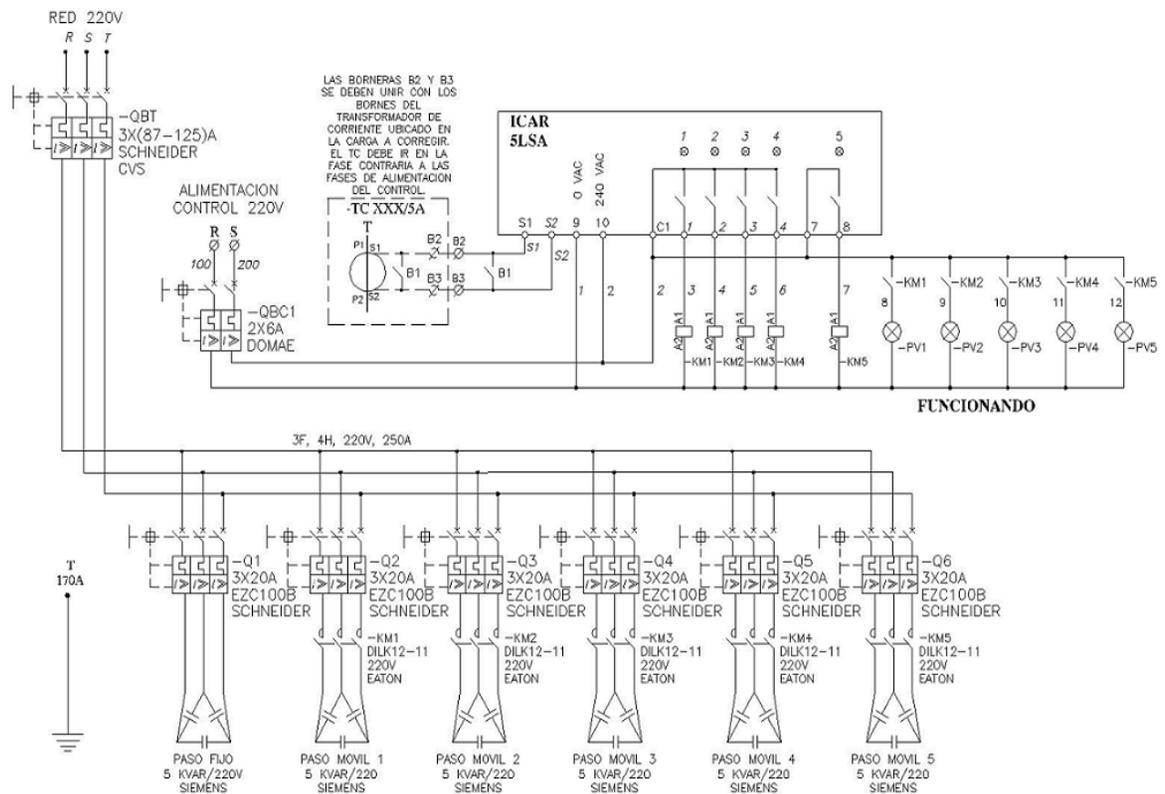


Figura 6. Simulador corrector factor de potencia automático.

⁸ Electric Systems ACRC, Op. cit., p. 92.

4.4 RELE CORRECTOR FACTOR DE POTENCIA 5LSA-230 ICAR

Conocer los parámetros eléctricos que afectan sus equipos y sistemas es de vital importancia para una buena administración y conservación de los mismos. El controlador de factor de potencia, con Cosenofímetro digital micro controlado incluido, es un equipo diseñado para que usted pueda saber de la energía que recibe su sistema, cuanta es utilizada por el mismo o cada una de las partes que lo componen y además usted pueda hacer control automático de la energía reactiva.

Este dispositivo hace parte del banco de condensadores cuya función es controlar automáticamente los condensadores que compensan el sistema eléctrico.

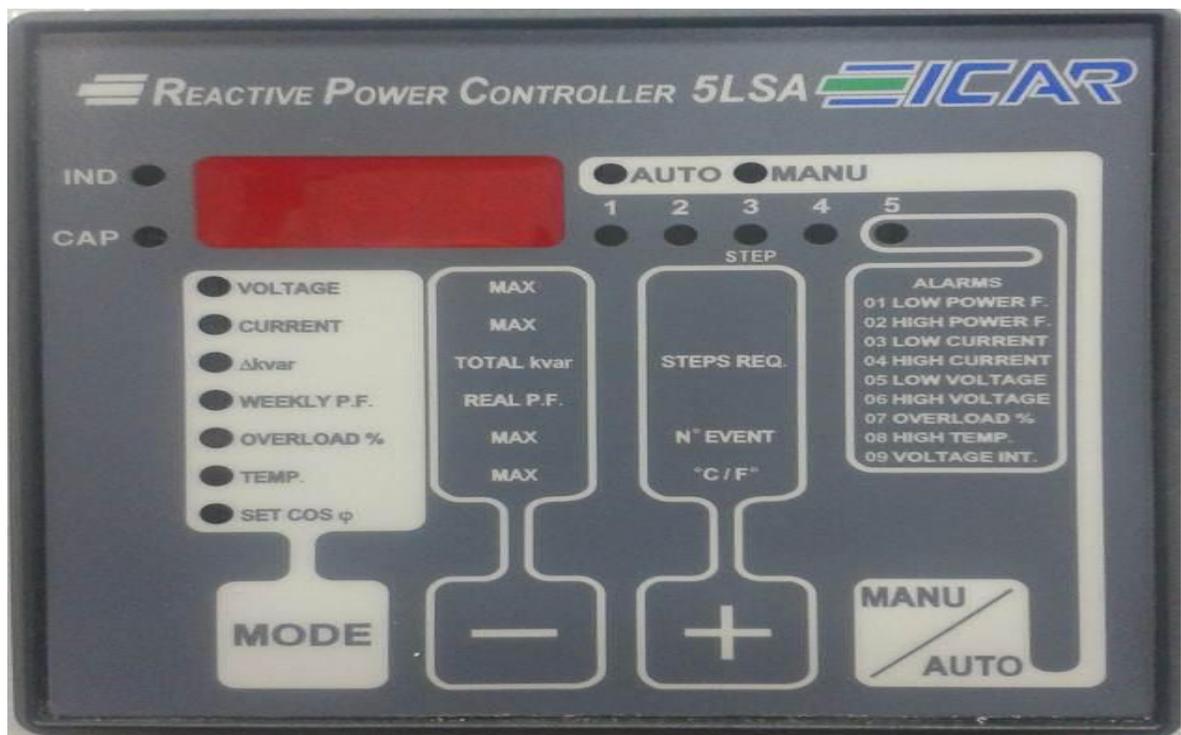


Figura 7. Relé corrector factor de potencia.

4.5 RESISTENCIAS DE PRE-INSERCIÓN⁹

Son dispositivos que se utilizan en los aparatos de maniobra (contactores), para que los capacitores se energicen a través de ellos, a fin de bajar la cresta de corriente de carga del capacitor. De este modo se mantiene la vida útil del aparato de maniobra. En el caso de no poseer resistencias de pre inserción los contactos podrían quedarse soldados debido a la elevada cresta de carga del capacitor. La resistencia de pre inserción, amortigua la cresta en el cierre y apertura del aparato de maniobra.

Los condensadores al ser sometidos bajo tensión y al estar completamente descargados, absorben una corriente transitoria de fuerte intensidad. Este valor de corriente es aún mayor, especialmente para el último condensador del banco. Cuando existe el riesgo de que el peak de corriente perturbe la línea de alimentación o sobrepase el valor de la corriente de cresta que tolera el último contactor, es necesario limitar este valor de corriente introduciendo en el circuito inductancias o resistencias. Por tal motivo es que utilizan contactores con bloques de contactos de paso con pre cierre y con resistencia de pre inserción.

Si bien estas corrientes son de corta duración (ms) pueden provocar perturbaciones en la red eléctrica, y someter a los aparatos involucrados en la instalación (capacitores, contactores, protecciones, etc.) a corrientes excesivas que provocarán la disminución de la vida útil de los mismos y en el peor de los

⁹ SADIK, Alexander Fundamentos de Circuitos Eléctricos, México: Hispano-Americana, 1974. p. 90.

casos un daño inmediato. Es por tal motivo que debemos tener en cuenta las características de los elementos a utilizar para dicha aplicación.

Cuando se produce el cierre del contactor asociado a un capacitor, se manifiesta un pico transitorio de corriente, de elevada frecuencia y amplitud (1 a 10kHz) la amplitud dependerá de varios factores como la impedancia característica del sistema en el punto de conexión del equipo, potencia de Corto Circuito (CC), si hay capacitores ya conectados, etc. pero puede llegar a ser varias veces superior a la corriente nominal del capacitor (100 o 200 veces I_n). Se debe tener en cuenta que la norma IEC establece que la corriente de inserción en capacitores no debe superar las 100 veces I_n .

Estos dispositivos se denominan “resistencias de pre-inserción” o “inductancias limitadoras”. Los mismos cumplen la función de limitar el transitorio de corriente generado por la conexión del bloque de capacitores a valores razonables para el sistema y sus componentes.

Dichos componentes son básicamente resistencias del tipo de alambre con alta capacidad de disipación de energía, que se conectan por medio de un bloque especial de contactos auxiliares en paralelo con los contactos de fuerza del contactor, con la particularidad de que el bloque auxiliar, se conecta de forma anticipada a los contactos de fuerza, transitoriamente durante un breve tiempo (2-3ms), logrando de esta forma una conexión inicial a través de las resistencias limitadoras para luego continuar circulando la corriente nominal del bloque de

capacitores a través de los contactos de fuerza del contactor. Con este sistema se evitan pérdidas por calor, la optimización del uso de dichas resistencias y reducción del espacio de montaje al no tener que sobredimensionar los contactores.

Un dato importante a tener en cuenta es la temperatura ambiente a la que estarán sometidos los contactores, ya que los mismos disminuyen su capacidad de maniobra con el aumento de la temperatura.

De acuerdo al modelo utilizado deberá verificar a que temperatura están indicados los valores nominales de trabajo. Como regla práctica se puede tomar los valores nominales a 45-50 °C, y su capacidad de maniobra disminuye en un porcentaje igual a la diferencia entre la temperatura ambiente existente y los 45-50 °C especificados. No debe superarse nunca la temperatura máxima admisible especificada por el fabricante.

4.6 CONTACTOR¹⁰

Para comandar cargas del tipo capacitivas es necesario contar con elementos de maniobra (ej. Contactores) capaces de soportar las altas corrientes de inserción que se generan al momento de conectar el bloque de capacitores en la red eléctrica. El contactor es un interruptor accionado o gobernado a distancia por un electroimán.

¹⁰OGATA, Katsuhiko Ingeniería de Control, México: Centeno, 1984. v3. p. 156-165.

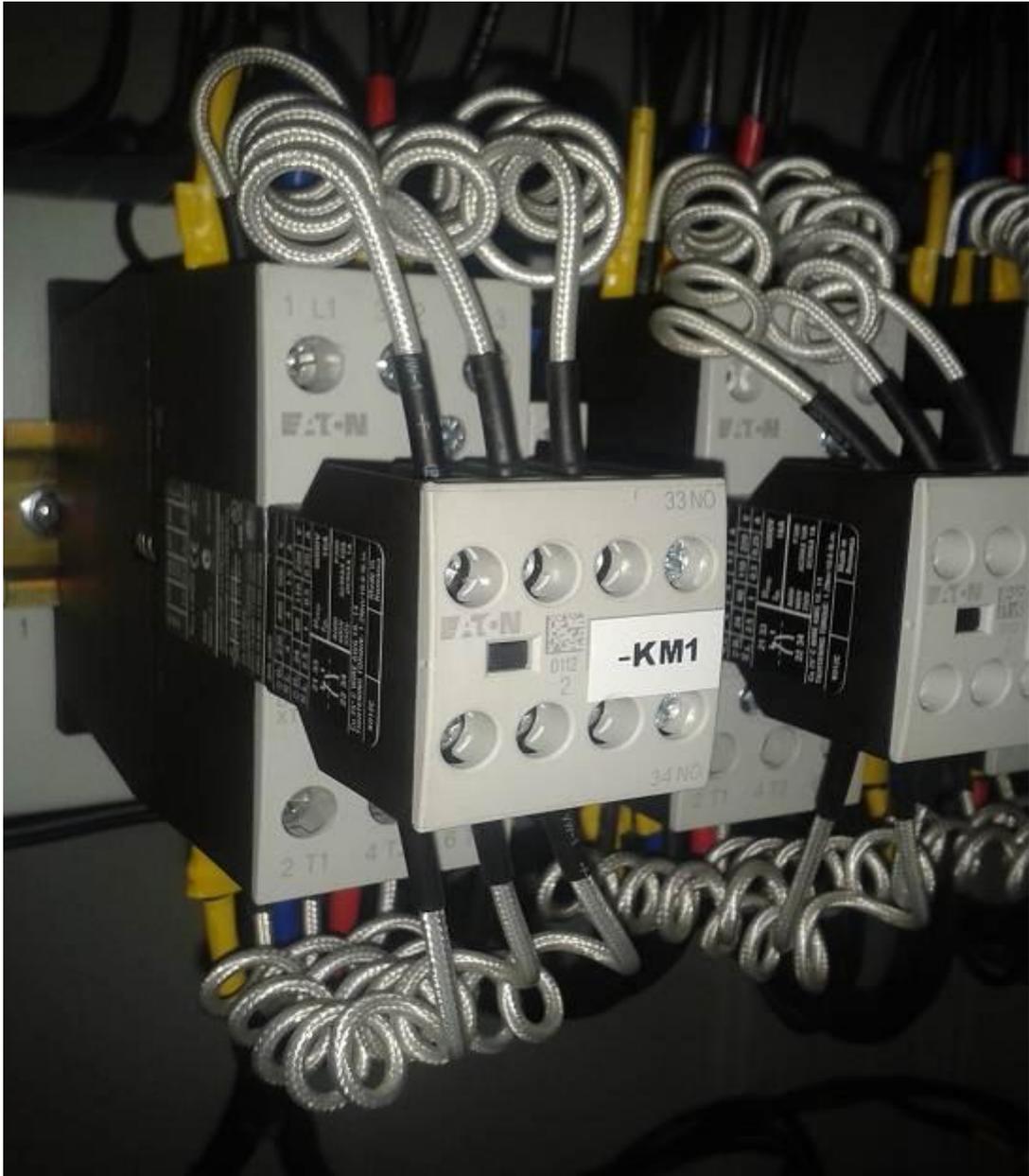


Figura 8¹¹.Contactor con resistencias de pre-inserción.

¹¹ LEINWAND, Allan Bruce Pinsky CCIE # 1045, Configuración de Circuitos Eléctricos. Segunda edición, Electric Systems 2001. p. 30.

Estos resistores son cortocircuitados, cuando el contactor finaliza su maniobra de cierre, y la corriente es conducida por los contactos principales. Con este tipo de dispositivo es posible limitar la corriente de inserción de los capacitores de 8 a 10 veces su corriente nominal y evitar una importante reducción en la vida útil de capacitores, fusibles y contactos asociados al circuito, por efecto de las corrientes transitorias y esfuerzos electrodinámicos.

4.6.1 Partes constitutivas¹²

1- Se denomina corriente de llamada a la corriente que acciona el electroimán. La corriente absorbida por la bobina es relativamente elevada debido a que prácticamente la única resistencia es el conductor con que está hecha la bobina. En estas condiciones, el $\cos \phi$ es alto (0.8 a 0.9) y la reactancia inductiva muy baja por existir mucho entrehierro entre el núcleo y la armadura.

Una vez cerrado el circuito magnético la impedancia de la bobina aumenta, de manera tal que la corriente de llamada se reduce considerablemente. La corriente formada se la denomina de mantenimiento o trabajo. Ésta es mucho más baja de 6 a 10 veces, pero con capacidad para mantener el circuito cerrado.

¹² *Ibíd.*, p. 32-35.

2- El núcleo es una parte metálica, de material ferromagnético y generalmente en forma de E, y que va fija a la carcasa.

Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina colocada en la columna central del núcleo para atraer con mayor eficiencia la armadura.

Se construye con una serie de láminas delgadas, de acero al silicio con la finalidad de reducir al máximo las corrientes parásitas, aisladas entre sí pero unidas fuertemente por remaches. El magnetismo remanente se elimina completamente por medio de la inserción de un material paramagnético, complementando al pequeño entrehierro.

Cuando se alimenta a la bobina con, el núcleo debe llevar un elemento adicional llamado espira de sombra o anillo de desfasaje. Este elemento, al estar desfasado de la onda principal, suministra al circuito magnético un flujo adicional creando una especie de CC. Esto evita ruidos y vibraciones, evitando la elevación la corriente de mantenimiento.

Los contactos son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de la corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el de mando, tan pronto como se energice la bobina. Éstos se pueden dividir en contactos principales y contactos auxiliares.

4.6.2 Contactos Principales¹³.

Son contactos instantáneos cuya función específica es establecer o interrumpir el circuito principal, a través del cual se transporta la corriente desde la red de alimentación a la carga, por el cual deben estar debidamente calibrados y dimensionados para permitir el paso de intensidades requeridas por la carga sin peligro de deteriorarse. Por su función, son contactos únicamente abiertos.

Cuando un contactor bajo carga se desenergiza produce una chispa, de manera que aunque la parte móvil se haya separado de la fija, el circuito no se interrumpe inmediatamente. Por eso, y más al trabajar con intensidades muy altas, se necesita de una cámara apaga chispas, la cual tiene como función evitar la formación de arco o la propagación del mismo de distintos sistemas.

4.6.3 Funcionamiento

Cuando la bobina es recorrida por la corriente eléctrica, genera un campo electromagnético intenso, de manera que el núcleo atrae con un movimiento muy rápido. Al producirse este movimiento, todos los contactos del contactor (tanto principales como auxiliares) cambian de posición solidariamente:

¹³KUO y GOLNARAGHI, Sistemas de Control Automático, Buenos Aires: Unión Tipográfica, 1982. p .45-48.

Los contactos cerrados se abren y los abiertos se cierran. Para volver los contactos a su posición inicial reposo basta con desenergizar la bobina.

4.6.4 Clasificación

Se les puede clasificar:

- Por tipo de corriente que alimenta la bobina: AC o DC
- Por la función y la clase de contactos:
- Contactores principales (con contactos principales y auxiliares)
- Contactores Auxiliares (con contactos únicamente auxiliares)
- Por la carga que pueden maniobrar (o categoría de empleo): Se tiene en cuenta la corriente que el contactor debe establecer o cortar durante las maniobras.

Para ello se toman en cuenta el tipo de carga que controla y las condiciones en las cuales se efectúan los cortes:

- AC1: Cargas no inductivas o débilmente inductivas, cuyo factor de potencia es mínimo 0.95.
- AC2: Para arranques de motores de anillos, inversión de marcha, frenado por contracorriente, marcha a impulsos de motores de anillos, cuyo factor de potencia es de 0,3 a 0,7.

- AC2: Para arranques de motores de anillos, inversión de marcha, frenado por contracorriente, marcha a impulsos de motores de anillos, cuyo factor de potencia es de 0,3 a 0,7.
- AC3: Para el control de motores jaula de ardilla que se apagan a plenamarcha y que en el arranque consumen de 5 a 7 veces la intensidad normal.
- AC4: Arranque de motores de rotor en cortocircuito, inversión de marcha, marcha a impulsos, frenado por contracorriente.

4.6.5 Ventajas

- Control y automatización de equipos y maquinas con procesos complejos, con la ayuda de aparatos auxiliares de mando como los interruptores de posición, detectores, presostatos, etc.
- Automatización en el arranque y paro de motores.
- Posibilidad de maniobrar los circuitos sometidos a corrientes muy altas mediante corrientes débiles.
- Posibilidad de controlar completamente una maquina desde varios puntos de maniobra (estaciones).
- Ahorro de tiempo al realizar maniobras prolongadas.

4.6.6 Criterios de Selección

Para elegir al contactor adecuado hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Tipo de corriente, tensión y frecuencia de alimentación de la bobina.

- Potencial nominal de la carga.
- Condiciones de servicio: ligera, normal, dura, extrema.
- Frecuencia de maniobra, robustez mecánica y robustez eléctrica.
- Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
- Posición del funcionamiento del contactor vertical u horizontal.
- Categoría de empleo o clase de carga.
- Kvars y voltaje del condensador a conectar
- Causas de deterioro o daño:
- Cuando un contactor no funciona o funciona en forma deficiente, lo primero que debe hacerse es revisar el circuito de mando y de potencia verificando el estado de los conductores y de las conexiones.
- Otras partes del contactor que suelen sufrir daño o desgaste son:

4.6.7 El Núcleo o La Armadura

Cuando no se juntan o lo hacen, pero de manera ruidosa es necesario verificar la tensión en la bobina, que no sea menor a la especificada, que los muelles estén vencidos o muy tensos o la presencia de cuerpos extraños en el entrehierro.

4.7 BREAKER TERMOMAGNÉTICO¹⁴

El interruptor termo magnético (breaker) está diseñado para proteger al conductor en su instalación eléctrica contra sobrecargas y cortocircuitos, por lo que la corriente nominal del interruptor termo magnético debe corresponder a la corriente nominal del conductor al que está conectado.



Figura 9¹⁵. Breaker de Protección General.

¹⁴ MONTGOMERY, Douglas C Diseño y Análisis de Experimentos, Londres: MacMillan, 1975. v6, p. 250.

¹⁵ LEINWAND, Allan Bruce Pinsky CCIE # 1045, Configuración de Circuitos Eléctricos. Segunda edición, Electric Systems 2001. p. 231.



Figura 10¹⁶. Breaker de Protección Capacitores.

¹⁶ *Ibíd.*, p. 235.

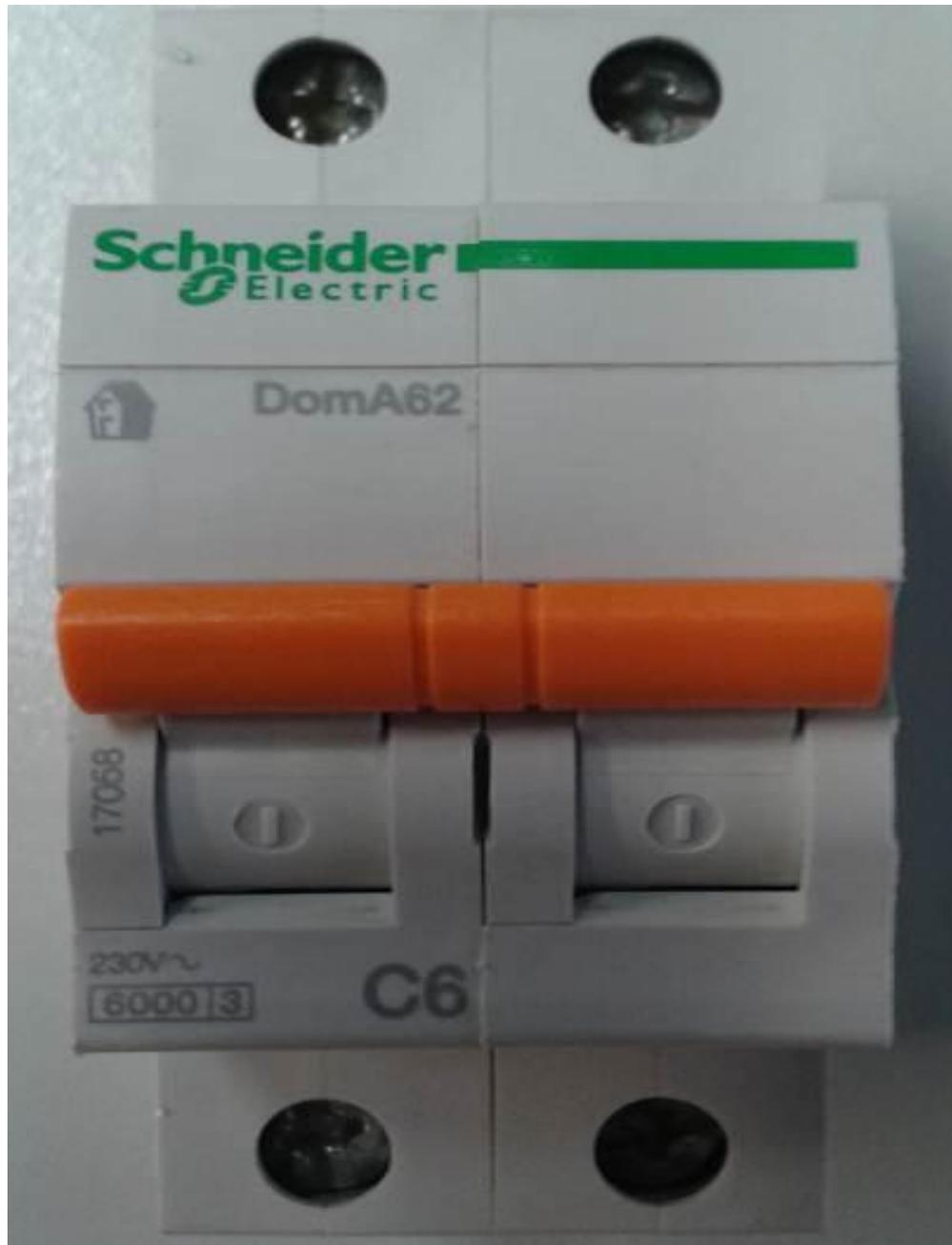


Figura 11¹⁷.Breaker de protección de control.

¹⁷ *Ibíd.*, p. 238.

4.7.1 Curvas de disparo¹⁸

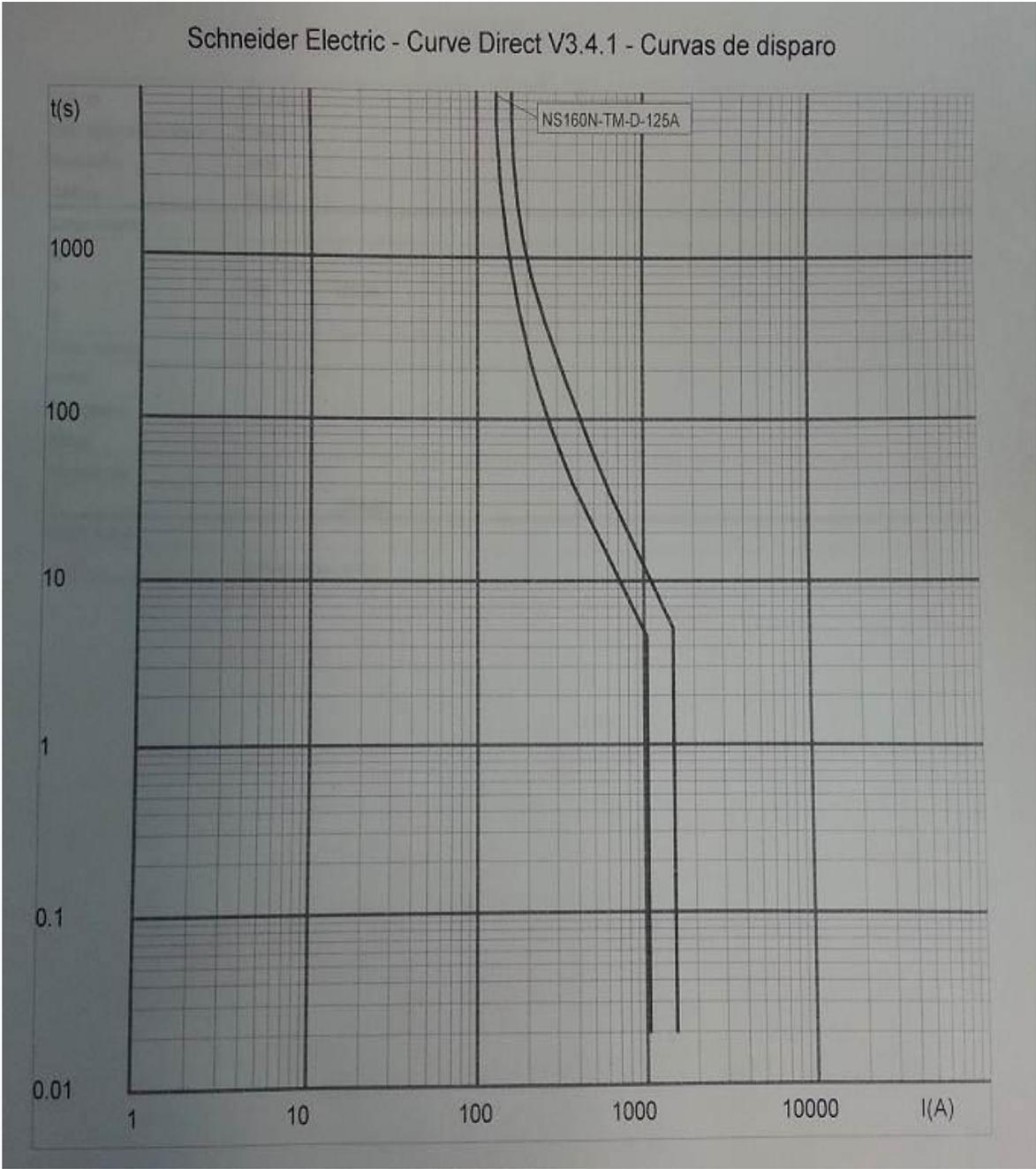


Figura 12. Curva de disparo a 125A.

¹⁸ *Ibíd.*, p. 240-243.

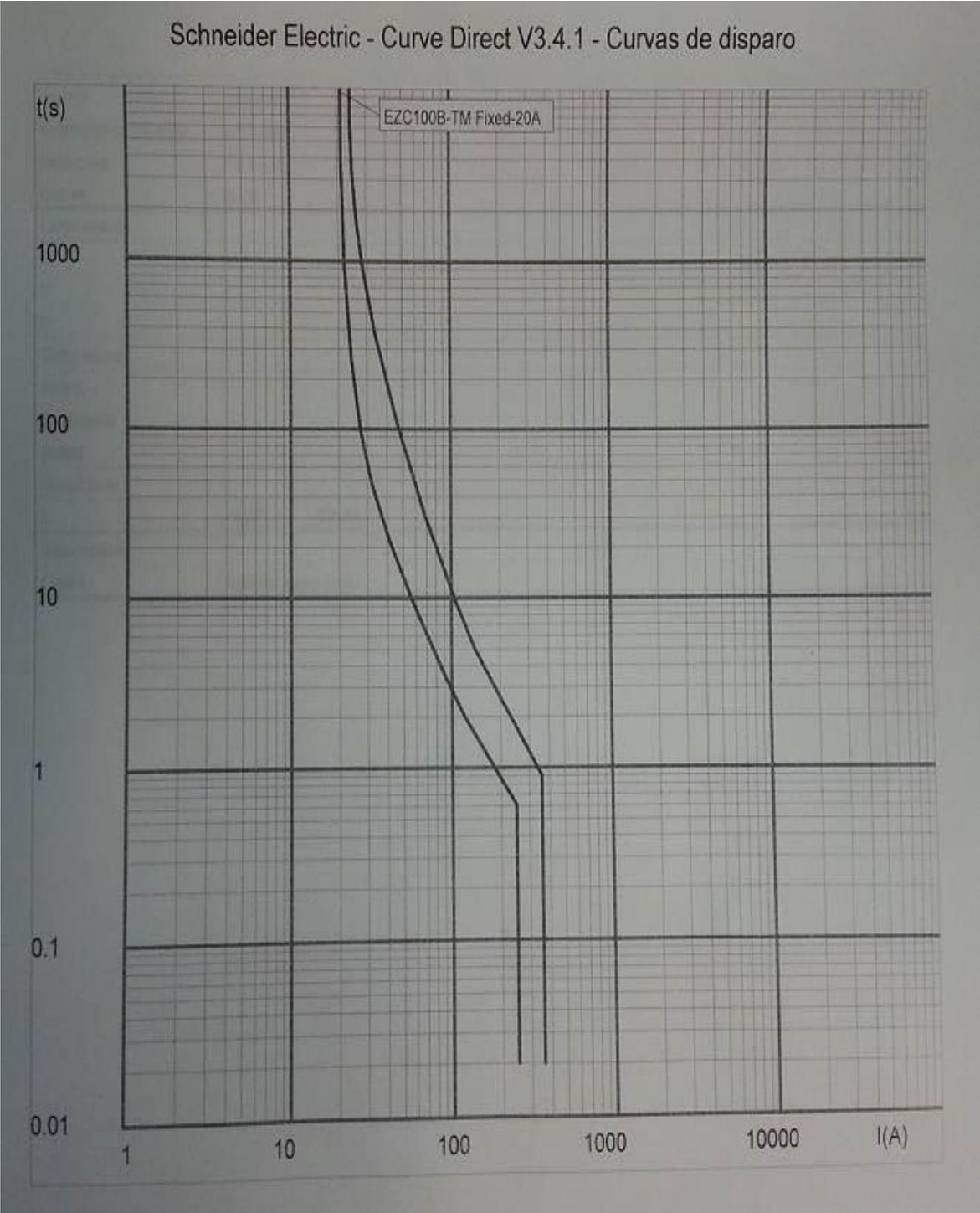


Figura 13. Curva de disparo a 20A.

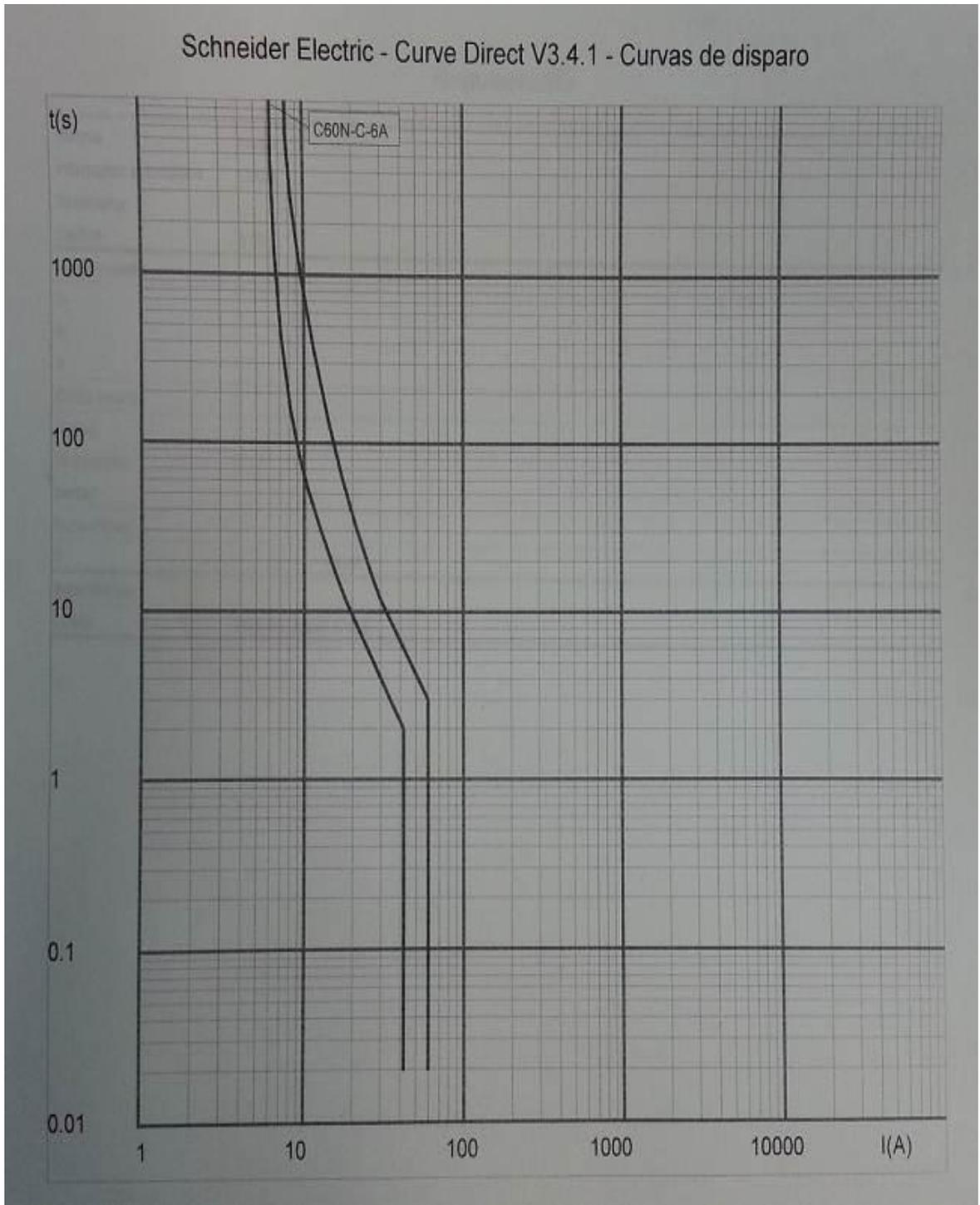


Figura 14. Curvas de disparo a 6A.

4.8 CONDENSADOR CILINDRICO¹⁹

La capacitancia es la propiedad que tienen los cuerpos para mantener una carga eléctrica. La capacitancia también es una medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para un potencial eléctrico dado. El dispositivo más común que almacena energía de esta forma es el condensador. La relación entre la diferencia de potencial (o tensión) existente entre las placas del condensador y la carga eléctrica almacenada en éste, se describe mediante la siguiente expresión matemática:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Dónde:

- C es la capacidad, medida en faradios (en honor al físico experimental Michael Faraday); esta unidad es relativamente grande y suelen utilizarse submúltiplos como el microfaradio o picofaradio.
- Q es la carga eléctrica almacenada, medida en culombios;
- V es la diferencia de potencial(o tensión), medida en voltios.

El condensador cilíndrico trifásico está elaborado en una película de polipropileno metalizado, un elemento seco ya que no está impregnado con aceite y la capa externa está envuelta con una mezcladieléctrica no tóxica.

¹⁹ Electric Systems. ICRC "Introduction Electric Configuration". Manual de Introducción a la configuración de redes eléctricas. 1999. p. 60.

Esta mezcla permite grandes ventajas para el capacitor, tanto desde el punto de vista mecánico (insensible a la vibración), como desde el punto de vista eléctrico (aislamiento a tierra garantizado). Estos elementos son insertados en una carcasa de aluminio con cubierta auto extingible de fibra de vidrio (según norma UL94). Los condensadores están equipados con resistencias de descarga externas, permanentemente conectadas a las terminales de la banda del capacitor.

Todos los condensadores están equipados con un dispositivo de seguridad de desconexión. Esta protección se utiliza para cortar la fuente de alimentación del circuito al final de la vida útil del condensador y en el caso de una falla por sobretensión.

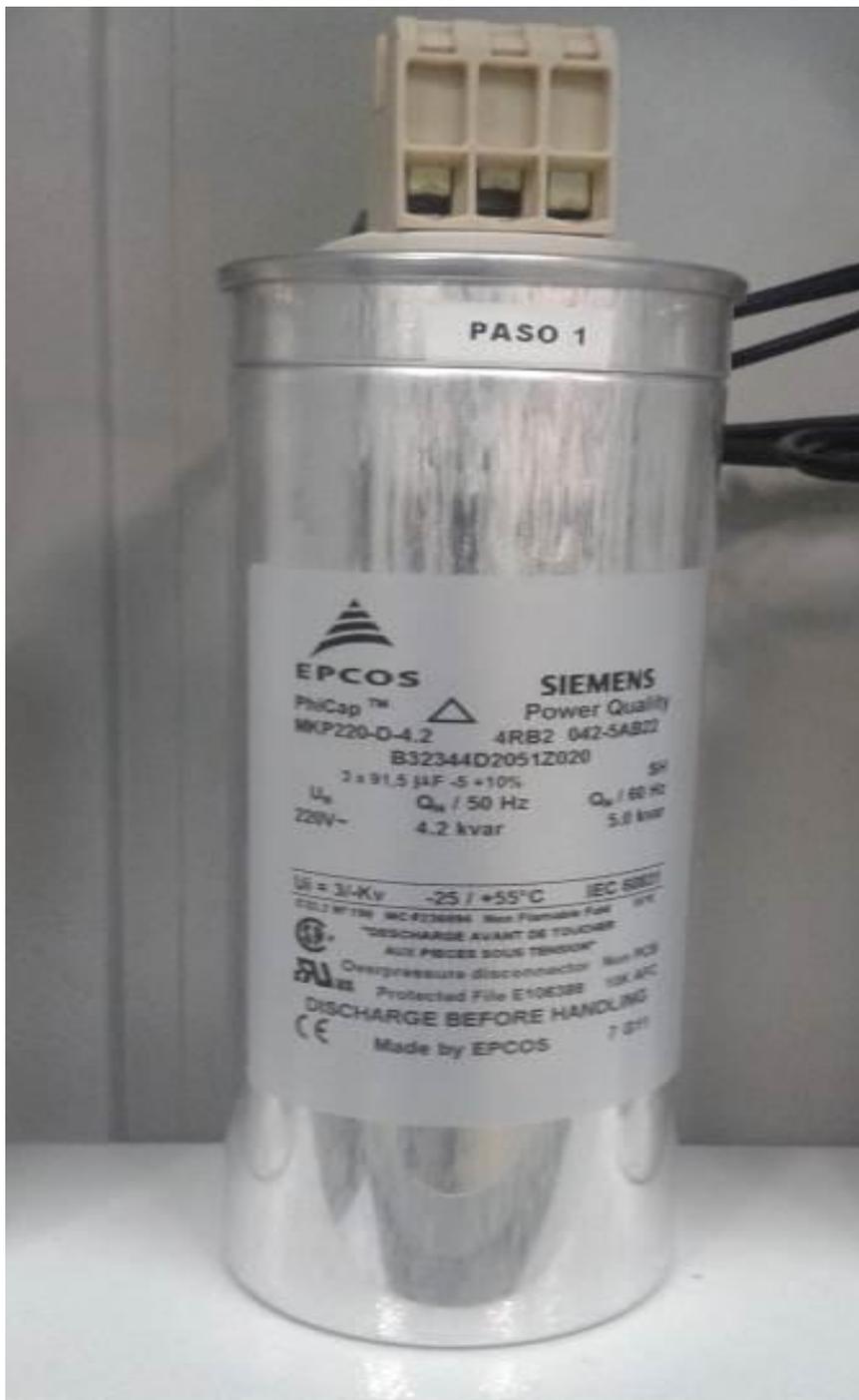


Figura 15²⁰. Condensador.

²⁰ Ibid., p. 61.

4.9 FACTOR DE POTENCIA²¹

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo, a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc... Este carácter reactivo obliga que junto a la potencia activa (KW) exista una potencia llamada Reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinen el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias. Al ser suministrada por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transporte.

Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación. La naturaleza de esas corrientes es descrita a continuación, mostrándose que son la causa principal del bajo factor de potencia.

4.9.1 POTENCIA APARENTE (S)

Es la potencia que determina la prestación en corriente de un transformador y resulta de considerar la tensión aplicada al consumo por la corriente que éste demanda.

²¹ MONTGOMERY, Douglas C Diseño y Análisis de Experimentos, Londres: MacMillan, 1975. v6, p. 260-262.

Fórmula de cálculo:

$$S = I \times V$$

Unidad de medida: Volt-Amper (VA)

4.9.2 POTENCIA ACTIVA (P)

Es la que se aprovecha como potencia útil en el eje del motor, la que se transforma en calor, etc. Es la potencia realmente consumida por el cliente y por lo tanto paga por el consumo de la misma.

Fórmula de cálculo:

$$P = I \times V \times \cos\theta$$

Unidad de medida: Wat (W)

4.9.3 POTENCIA REACTIVA (Q)

Es la potencia que los campos magnéticos rotantes de los motores o balastos de iluminación intercambian con la red eléctrica sin significar un consumo de potencia útil o activa.

Fórmula de cálculo:

$$Q = I \times V \times \sin\theta$$

Unidad de medida: Volt-Amper reactivo (VAR)

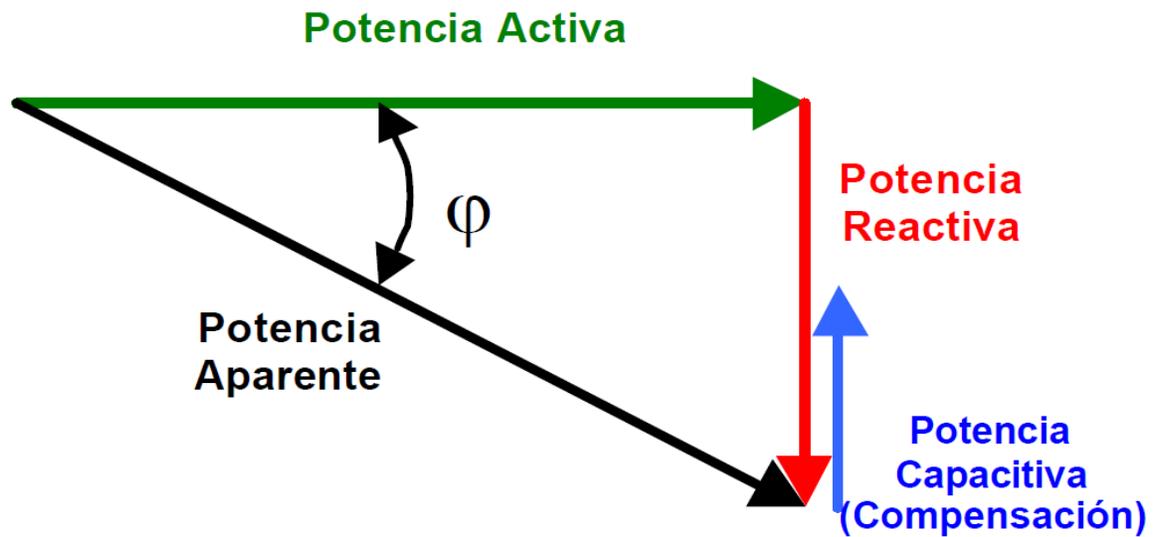


Figura 16²². Triángulo de potencias.

El coseno del ángulo de fase toma en cuenta la potencia reactiva. Ella aparece en la ecuación debido a que cualquier inductancia o capacitancia causa una diferencia de tiempo entre el pico del voltaje aplicado a la carga y el pico de corriente exigido por la carga.

En circuitos inductivos, el pico del voltaje ocurre primero, y la corriente se dice que está “atrasada”. En circuitos capacitivos, el pico de corriente ocurre primero y la corriente se dice que está “adelantada”.

Tanto el adelanto como el atraso es medido en grados y estos grados es lo que se denomina ángulo de fase θ , θ es un ángulo de atraso de 90° . Como lamayoría de

²² NIELSSON, James Circuitos Eléctricos, Washington: Prentice-Hall, 1980. v7, p. 383.

las cargas industriales son de naturaleza inductiva, normalmente se trabajará con corrientes atrasadas.

En circuitos resistivos puros (sin inductancia ni capacitancia), los picos de corrientes y voltaje ocurren simultáneamente y se dice que están “en fase”. Aquí el ángulo θ será siempre 0° .

En circuitos que contienen resistencia e inductancia, el ángulo θ es siempre menor de 90° .

El hecho de que grandes inductancias produzcan grandes atrasos es matemáticamente reflejado por el valor del coseno, ya que el coseno de cualquier ángulo entre 0° y 90° está entre los valores de 1 y 0 respectivamente. Cuando esa $\theta = 0^\circ$ (circuito resistivo puro) $\cos\theta=1$, obteniéndose:

Potencia Activa(vatios) = voltios x amperios x 1, en cuyo caso la potencia activa y la aparente son iguales, Cuando $\theta=90^\circ$ (circuito inductivo puro o capacitivo puro), $\cos \theta=0$ y la potencia activa (vatios) = voltios x amperios x 0 = 0.

Para un ejemplo práctico, sea $\theta=30^\circ$. De las tablas trigonométricas, $\cos 30^\circ=0.866$, luego potencia activa (Vatios) = voltios x amperios x 0.866.

Este es un caso típico donde la potencia activa es mucho mayor que 0, pero considerablemente menor que el producto voltios x amperios; la diferencia es debida a la potencia reactiva.

Se deduce lógicamente que la adición de más motores (esto es, más inductancia) a una planta industrial disminuirá el factor de potencia de la industria. Esto es debido a que:

$$\text{Factor de potencia} = \text{potencia activa} / \text{potencia aparente}$$

Cuando el ángulo de fase es incrementado por la adición de más inductancias, la fracción representada $\cos \theta$ se hace más pequeña, dando una cifra baja para el factor de potencia.

Normalmente, la potencia activa es expresada en Kilovatios (KW), la potencia reactiva en Kilovatios amperios reactivos (KVAR) y la potencia aparente en Kilovatios amperios (KVA) igualmente, se abrevian el factor de potencia como FP o $\cos \theta$.

$$FP = \cos \theta = \frac{KW}{\sqrt{(KW^2 + KVAR^2)}}$$

Observándose la importancia que tiene el lograr disminuir lo más posible la cifra que representa los KVAR.

4.9.4 Porque existe un bajo factor de potencia²³

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos pero es necesaria para el funcionamiento de elementos tales como motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros, puede volverse apreciable en una industria, y si no se vigila apropiadamente hace disminuir el factor de potencia, el cual se paraliza. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

-Un gran número de motores.

-Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado.

-Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.

-Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

Una carga eléctrica industrial en su naturaleza física es reactiva, pero su componente de reactividad puede ser controlado y compensado, con amplios beneficios técnicos y económicos.

²³ Electric Systems ACRC “Advanced Electric Configuration”, Manual Avanzado de configuración de redes electricas.1992. p. 120-125.

4.9.5 Porque se penaliza el bajo factor de potencia

El hecho de que exista un bajo factor de potencia en su industria produce los siguientes inconvenientes:

1) Al suscriptor:

-Aumento de la intensidad de corriente.

-Pérdidas en los conductores y fuertes caída de tensión.

-Incrementos de potencia de las plantas, transformadores y reducción de capacidad de conducción de los conductores.

-La temperatura de los conductores aumenta y disminuye la vida de su aislamiento.

-Aumentos en sus facturas por consumo de electricidad.

2) a la compañía de electricidad:

-Mayor inversión en los equipos de generación, ya que su capacidad en KVA debe ser mayor.

-Mayores capacidades en líneas de transporte y transformadores para el transporte y transformación de esta energía reactiva.

-Caídas y baja regulación de voltajes, los cuales pueden afectar la estabilidad de la red eléctrica.

Una forma de que las empresas de electricidad a nivel nacional e internacional hagan reflexionar a las industrias sobre la conveniencia de generar o controlar su consumo de energía reactiva ha sido a través de un cargo por demanda, facturado \$ / KVA, es decir, cobrándole por capacidad suministrada en KVA; o a través de un cargo por demanda facturado en \$ / KW pero adicionándole una penalización por bajo factor de potencia (\$ / KVAR).

Las industrias pueden evitar estos cargos tarifarios si ellas mismas suministran en sus propios sitios de consumo la energía reactiva que ellas requieren, la cual puede ser producida localmente a través de condensadores eléctricos estáticos o motores sincrónicos realizando una inversión de relativa poca monta y desde todo punto de vista favorable económica y técnicamente.

4.9.6 Ventajas de la corrección del factor de potencia²⁴

Las ventajas derivadas de la corrección del bajo F.P. se obtienen al librar un sistema de efecto (cargas extra), de la corriente adicional innecesaria que circula por los transformadores y otros equipos importantes del mismo. Con un F.P. alto se utiliza más eficazmente la energía comprada y la demanda se reduce al

²⁴ MONTGOMERY, Douglas C Diseño y Análisis de Experimentos, Londres: MacMillan, 1975. v6, p. 265.

mínimo. La economía se beneficia por las bajas tarifas aplicadas por algunas empresas de servicio eléctrico a los usuarios que operan con un alto F.P... Se logra un ahorro considerable al no tener que pagar las multas o sanciones.

4.9.7 Como mejorar el factor de potencia

El factor de potencia exigido por la empresa eléctrica se puede conseguir en una forma práctica y económica, instalando condensadores eléctricos estáticos o utilizando los motores sincrónicos disponibles en su industria.

Tabla para mejorar el factor de potencia:

REL. KVARh / KWh	εp. ACTUAL	FACTOR DE POTENCIA DESEADO										
		0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
1,732	0,50	1,248	1,276	1,305	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,590	1,732
1,687	0,51	1,202	1,231	1,261	1,291	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
1,643	0,52	1,158	1,187	1,217	1,247	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
1,600	0,53	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,458	1,600
1,559	0,54	1,074	1,103	1,133	1,163	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,559
1,518	0,55	1,034	1,063	1,092	1,123	1,156	1,190	1,227	1,268	1,315	1,376	1,518
1,479	0,56	0,995	1,024	1,053	1,084	1,116	1,151	1,188	1,229	1,276	1,337	1,479
1,441	0,57	0,957	0,986	1,015	1,046	1,079	1,113	1,150	1,191	1,238	1,299	1,441
1,405	0,58	0,920	0,949	0,979	1,009	1,042	1,076	1,113	1,154	1,201	1,262	1,405
1,368	0,59	0,884	0,913	0,942	0,973	1,006	1,040	1,077	1,118	1,165	1,226	1,368
1,333	0,60	0,849	0,878	0,907	0,938	0,970	1,005	1,042	1,083	1,130	1,191	1,333
1,299	0,61	0,815	0,843	0,873	0,904	0,936	0,970	1,007	1,048	1,096	1,157	1,299
1,265	0,62	0,781	0,810	0,839	0,870	0,903	0,937	0,974	1,015	1,062	1,123	1,265
1,233	0,63	0,748	0,777	0,807	0,837	0,870	0,904	0,941	0,982	1,030	1,090	1,233
1,201	0,64	0,716	0,745	0,775	0,805	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,058	1,201
1,169	0,65	0,685	0,714	0,743	0,774	0,806	0,840	0,877	0,919	0,966	1,027	1,169
1,138	0,66	0,654	0,683	0,712	0,743	0,775	0,810	0,847	0,888	0,935	0,996	1,138
1,108	0,67	0,624	0,652	0,682	0,713	0,745	0,779	0,816	0,857	0,905	0,966	1,108
1,078	0,68	0,594	0,623	0,652	0,683	0,715	0,750	0,787	0,828	0,875	0,936	1,078
1,049	0,69	0,565	0,593	0,623	0,654	0,686	0,720	0,757	0,798	0,846	0,907	1,049
1,020	0,70	0,536	0,565	0,594	0,625	0,657	0,692	0,729	0,770	0,817	0,878	1,020
0,992	0,71	0,508	0,536	0,565	0,597	0,629	0,663	0,700	0,741	0,789	0,849	0,992
0,964	0,72	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	0,964
0,936	0,73	0,452	0,481	0,510	0,541	0,573	0,608	0,645	0,686	0,733	0,794	0,936
0,909	0,74	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	0,909
0,882	0,75	0,398	0,426	0,456	0,487	0,519	0,553	0,590	0,631	0,679	0,739	0,882
0,855	0,76	0,371	0,400	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,605	0,652	0,713	0,855
0,829	0,77	0,344	0,373	0,403	0,433	0,466	0,500	0,537	0,578	0,626	0,686	0,829
0,802	0,78	0,318	0,347	0,376	0,407	0,439	0,474	0,511	0,552	0,599	0,660	0,802
0,776	0,79	0,292	0,320	0,350	0,381	0,413	0,447	0,484	0,523	0,573	0,634	0,776
0,750	0,80	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,608	0,750
0,724	0,81	0,240	0,268	0,298	0,329	0,361	0,395	0,432	0,473	0,521	0,581	0,724
0,698	0,82	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,556	0,698
0,672	0,83	0,188	0,216	0,246	0,277	0,309	0,343	0,380	0,421	0,469	0,530	0,672
0,646	0,84	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	0,646
0,620	0,85	0,135	0,164	0,194	0,225	0,257	0,291	0,328	0,369	0,417	0,477	0,620
0,593	0,86	0,109	0,138	0,167	0,198	0,230	0,265	0,302	0,343	0,390	0,451	0,593
0,567	0,87	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,316	0,364	0,424	0,567
0,540	0,88	0,055	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	0,540
0,512	0,89	0,028	0,057	0,086	0,117	0,149	0,184	0,221	0,262	0,309	0,370	0,512
0,484	0,90	0,000	0,029	0,058	0,089	0,121	0,156	0,193	0,234	0,281	0,342	0,484
0,456	0,91	-0,029	0,000	0,030	0,060	0,093	0,127	0,164	0,205	0,253	0,313	0,456
0,426	0,92	-0,058	-0,030	0,000	0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,284	0,426
0,395	0,93	-0,089	-0,060	-0,031	0,000	0,032	0,067	0,104	0,145	0,192	0,253	0,395
0,363	0,94	-0,121	-0,093	-0,063	-0,032	0,000	0,034	0,071	0,112	0,160	0,220	0,363
0,329	0,95	-0,156	-0,127	-0,097	-0,067	-0,034	0,000	0,037	0,078	0,126	0,186	0,329
0,292	0,96	-0,193	-0,164	-0,134	-0,104	-0,071	-0,037	0,000	0,041	0,089	0,149	0,292
0,251	0,97	-0,234	-0,205	-0,175	-0,145	-0,112	-0,078	-0,041	0,000	0,048	0,108	0,251
0,203	0,98	-0,281	-0,253	-0,223	-0,192	-0,160	-0,126	-0,089	-0,048	0,000	0,061	0,203
0,142	0,99	-0,342	-0,313	-0,284	-0,253	-0,220	-0,186	-0,149	-0,108	-0,061	0,000	0,142

Los números dentro de esta tabla son los múltiplos de los kW usados para determinar los KVAR en capacitores requeridos para la corrección del factor de potencia.

Figura 17. Tabla de factor de potencia.

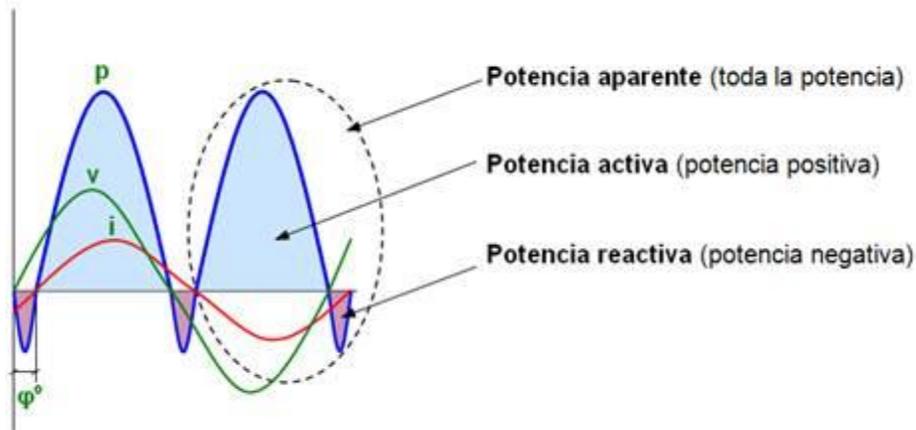


Figura 18²⁵. Gráfica de potencias.

4.9.8 Condensadores eléctricos estáticos²⁶

En plantas industriales, la forma más práctica y económica para la corrección del bajo factor de potencia es la utilización de condensadores. La corriente del condensador es usada para suplir en su totalidad o en parte, las corrientes magnetizantes requeridas por las cargas.

Los condensadores mejoran el factor de potencia debido a que sus efectos son exactamente opuestos a los de las cargas reactivas ya definidas, eliminando así el efecto de ellas.

²⁵ NIELSSON, James Circuitos Eléctricos, Washington: Prentice-Hall, 1980. v7, p. 384.

²⁶ OGATA, Katsuhiko Ingeniería de Control, México: Centeno, 1984. v3. p. 165-175.

La potencia reactiva capacitiva de un condensador Q_c es:

$$Q_c = V^2 \times W \times C \times 10^{-3}, \text{ en KVAR}$$

Siendo:

V = el valor eficaz de la tensión de servicio, en voltios.

W = la velocidad angular ($W=2 \times \pi \times f$)

F = frecuencia en Hz.

C = la capacidad, en faradios.

La potencia del condensador a de ser tal que luego de su instalación se establezca un valor mejorado comprendido entre 0.9 y 0.98 (inductivo).

No se debe efectuar una compensación excesiva ($Q_c > Q_L$) ya que, en tal caso, resulta una potencia reactiva capacitiva con problemas similares a la inductiva. Además, en caso de sobre-compensación se puede establecer un aumento de la tensión de los equipos con respecto a la de la red.

Para determinar la potencia de los condensadores a utilizar en sistemas de compensación central o por grupos, se suma el consumo de potencia reactiva de todos los equipos teniendo en cuenta un factor de simultaneidad adecuado.

4.9.9 Motores sincrónicos²⁷

Los motores sincrónicos pueden también actuar como generadores de KVAR. Su capacidad para generar KVAR es función de su excitación y de la carga conectada; cuando operan en baja excitación no genera los suficientes KVAR para suplir sus propias necesidades y en consecuencia los toman de la red eléctrica.

Cuando operan sobrecitados (operación normal) suplen sus requerimientos de KVAR y pueden además entregar KVAR a la red; en este caso son utilizados como compensadores de bajo factor de potencia.

4.9.10 Como determinar los condensadores necesarios²⁸

Midiendo la energía activa y reactiva en instalaciones ya existentes se puede calcular la potencia necesaria del condensador para obtener el factor de potencia deseado. También se pueden conectar durante cierto tiempo registradores de la potencia activa y reactiva para obtener información sobre el consumo de energía reactiva. Si se desea alcanzar un valor determinado del factor de potencia \cos

²⁷ CHAPMAN, Stephen Maquinas Eléctricas, México: Aguilar, 1983. p. 328.

²⁸ LEINWAND, Allan Bruce Pinsky CCIE # 1045, Configuración de Circuitos Eléctricos. Segunda edición, Electric Systems 2001. p. 250-254.

θ_2 en una instalación cuyo factor de potencia existente $\cos \theta_1$ se desconoce, se determina este con ayuda de un contador de energía activa, un amperímetro y un voltímetro. Existen diferentes métodos para realizar estas mediciones.

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

Basándonos en la factura tenemos la siguiente información:

$$KW=497$$

$$KWH=73.968$$

$$KVARH=107088$$

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

$$\tan \theta_1 = \frac{KVARH}{KWH} = \frac{107.088}{73.968} = 1.45$$

Correspondiente a este valor de $\tan \theta_1$ hay un valor de $\cos \theta_1 = 0.57$ y se desea tener un $\cos \theta_2$ de 0.9 que equivale a $\tan \theta_2 = 0.4843$.

$$KVAR \text{ originales } KW \times \tan \theta_1 = 497 \times 1.45 = 720.6$$

$$\text{KVAR mejorado} = \text{KW} \times \tan\theta_2 = 497 \times 0.4843 = 240.7$$

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

$$\Delta\text{KVAR} = \text{KW}(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = 497(1.47 - 0.4843) = 480$$

En el presente ejemplo resulta, para un valor existente de $\cos\phi_1=0.57$ y uno deseado de $\cos\phi_2=0.9$, un factor F

$$F = 0.958$$

En tal caso, la potencia del condensador necesaria es:

$$\Delta\text{KVAR} = \text{KW} \times F = 497 \times 0.958$$

$$\Delta\text{KVAR} = 476$$

Se eligen los condensadores comunes existentes en el mercado en los rangos existentes normalizados hasta completar la magnitud exacta inmediata superior, en nuestro caso 500 KVAR.

Es oportuno destacar que en relación a los voltajes y tamaños de los condensadores, las diferentes fábricas producen equipos para los voltajes normalizados más utilizados por las empresas de electricidad, aunque también los fabrican para voltajes y tamaños especiales bajo especificación del cliente.

Sin embargo, los tamaños existentes en el mercado son muy numerosos y generalmente se fabrican tanto condensadores monofásicos como trifásicos en incrementos de 5KVAR hasta 50KVAR, de 10KVAR hasta 100KVAR y en saldos de 50KVAR hasta 300KVAR. Tamaños mayores requieren pedidos especiales.

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

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

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

Nota: Generalmente cada fábrica de condensadores produce determinado tamaño y para algunos voltajes. Lo mejor a la hora de la selección es solicitar los catálogos de las diferentes fábricas a fin de obtener el más conveniente para su tamaño y voltaje de operación.

4.9.11 Localización de condensadores y motores sincrónicos²⁹.

Los beneficios que los condensadores en paralelo y los motores sincrónicos dan al sistema es el de proveer una base para la reducción de los KVAR. Estos beneficios se manifiestan en una reducción de sus facturas de electricidad, liberación de capacidad de KVA en el sistema, mejoramiento de voltaje y reducción de pérdidas.

En sistemas de 220 a 600 voltios y siempre que sea posible, los condensadores deben ser localizados en o cerca de las cargas a fin de obtener el mínimo costo y los máximos beneficios.

En el caso de motores sincrónicos, no es fácil lograr esta flexibilidad; usualmente los motores sincrónicos son de gran potencia y no son económicos para la operación a 220 o 480 voltios, que es el voltaje común en las plantas industriales. Sin embargo siguen vigentes los principios ya mencionados, esto es corrección a la carga cuyo factor de potencia se desea mejorar.

²⁹KUO y GOLNARAGHI, Sistemas de Control Automático, Buenos Aires: Unión Tipográfica, 1982. p .65.

4.9.12 Compensación individual³⁰

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

4.9.12.1 Transformadores³¹

Según las normas de distribución, para compensar la potencia reactiva de transformadores (sin tener en cuenta la red) hay que proveer en el lado de baja tensión condensadores apropiados para estos.

Las sobrecompensaciones (lo cual equivale a una potencia capacitiva) originan aumentos de tensión, que se pueden calcular en forma aproximada de la siguiente manera:

$$U = U_k \times Q_c / KVAN$$

Siendo:

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

³⁰ HAYT, J.R Análisis de Circuitos en Ingeniería, México: Aguilar, 1984. v.6, p. 48.

³¹ STEVENSON, William D Análisis de Sistemas de Potencia, Washington: Prentice –Hall, 1960. p. 38.

U_k = la tensión de cortocircuito del transformador, en %

Q_c = la potencia nominal del condensador en KVAR

KVAN = la potencia nominal del transformador, en KVA.

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

4.9.12.2 Motores trifásicos³²

En este caso hay que tener en cuenta que si al desconectar el motor no se separan los condensadores de los arrollamientos, pueden resultar en los bornes del motor una tensión debido a la autoexcitación que se mantendrá hasta que el motor se pare. Esto se evita eligiendo los valores recomendados para la compensación individual de cada motor y instalando contactor para su desconexión.

El condensador entonces queda conectado a la red a través de un contactor el cual impide la autoexcitación, y las conexiones en oposición de fase. Durante el arranque del motor (conexión estrella) es ya efectiva la potencia total del

³² CHAPMAN, Stephen Maquinas Eléctricas, México: Aguilar, 1983. p. 311.

condensador. Para descargar este después de la desconexión hay que proveer un dispositivo de descarga. Para los condensadores con potencia de hasta 50KVAR aproximadamente se utilizan resistencias óhmicas de descarga, y para los condensadores con potencias superiores, bobinas de reactancia.

4.9.13 Lámparas fluorescentes

En una instalación con lámparas compensadas individualmente pueden fallar los condensadores, sin que ello se perciba. Generalmente estas fallas no se notan hasta que los interruptores de medida indican un incremento de la potencia reactiva.

La tarea de encontrar los condensadores defectuosos resulta complicada y costosa, por lo que en las instalaciones de iluminación de gran envergadura conviene utilizar una compensación central o por grupos.

4.9.13.1 Compensación por grupos³³

Cuando hay un grupo de equipos conectados conjuntamente, se pueden tomar los condensadores en lugares apropiados, por ejemplo, en un tablero de compensación y para evitar que se produzcan sobrecompensaciones, los equipos

³³ Electric Systems ACRC “Advanced Electric Configuration”, Manual Avanzado de configuración de redes eléctricas.1992. p. 130.

y los condensadores tienen que estar conectados conjuntamente. En este caso es conveniente realizar un análisis más detallado para definir los grupos y forma de compensación según las características de operación de la industria.

4.9.13.2 Compensación central con sistema de regulación³⁴

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

Cuando la compensación se efectúa centralmente se facilita los trabajos de mantenimiento, al contrario de lo que ocurre en la compensación individual en donde los condensadores están distribuidos por separado, por ejemplo, en las lámparas fluorescentes. No obstante, hay que tener en cuenta que en la compensación central la potencia reactiva es transmitida desde el tablero de comunicación hasta los equipos a través de sistemas de distribución interno de la planta, sobrecargándolo.

Los componentes esenciales de un sistema de compensación central son:

-Condensadores.

³⁴ SADIK, Alexander Fundamentos de Circuitos Eléctricos, México: Hispano-Americana, 1974. p. 115-120.

-Un regulador de la potencia reactiva que mide a través de transformadores de intensidad, el consumo de potencia reactiva en la acometida, y transmite las órdenes de conexión o desconexión a los contactores de maniobra de los condensadores.

-Fusibles para las derivaciones de los condensadores.

-Contactores para maniobrar los condensadores.

-Un dispositivo para descargar los condensadores una vez desconectados de la red.

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

Si no se realiza la conexión correctamente los condensadores se conectan ya a una carga inductiva reducida, puesto que la compensación no es efectiva para los transformadores de intensidad. Al desconectarse los equipos, queda fuera de servicio el sistema de regulación, ya que no fluye corriente a través del

transformador de intensidad. Los conductores permanecen conectados y la energía sobrante fluye a la red. En tal caso se establece una sobrecompensación.

El sistema de compensación central se dispone generalmente en las proximidades de la instalación de maniobra principal de baja tensión. El sistema de compensación se extiende a toda la instalación incluyendo los aparatos de alumbrado.

Para mantener constante el factor de potencia independientemente de las variaciones del consumo de potencia reactiva, los condensadores se conectan o desconectan automáticamente por etapas. La elección del número y la magnitud de estas dependen de las condiciones de servicio. La experiencia ha demostrado que conviene dividir la potencia del condensador en cinco etapas. Para una potencia total de 50KVAR se conectan, por ejemplo, tres condensadores de 10, 20 y 20 KVAR respectivamente. Los reguladores han de ser insensibles dentro de un margen determinado, para impedir que oscile el sistema de regulación.

4.9.14 Aspectos para la instalación y operación de los condensadores³⁵

Estas notas se refieren a la instalación de condensadores destinados a la corrección del factor de potencia en sistemas eléctricos cuyos voltajes nominales estén comprendidos entre 220 y 600 voltios.

La corriente nominal de los cables o barras conductoras, equipos de conexión y desconexión, cuchillas, etc. Debe ser, como mínimo, el 135% de la corriente nominal capacitiva que soportan. Con excepción de los fusibles cuya corriente nominal no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal de los condensadores.

El voltajes nominal de los contactores, interruptores, cuchillas, desconectadoras, fusibles, etc.; no debe ser inferior al voltaje de línea a la que estén conectados a los condensadores.

Los condensadores pueden ser instalados al interior, o a la intemperie, si han sido fabricados para soportar este tipo de operaciones.

Las partes vivas de los condensadores quedan protegidos por medio de cubiertas o gabinetes que impidan el contacto directo con personas u otros equipos.

³⁵ *Ibíd.*, p. 125-131.

En caso de no usarse cubiertas de protección o gabinetes, los condensadores deben instalarse protegidos por medio de una cerca o montados sobre una estructura elevada que deje las partes vivas a la altura reglamentaria correspondiente, según el voltaje. Los condensadores tipo intemperie deben contar con un acabado, clase aislado y nivel básico de impulso para este uso. Se consideran recomendable 1,2 KV. de su aislamiento y 30 KV. de nivel básico de impulso.

Los condensadores deben contar con un dispositivo de descarga que asegure que el voltaje entre bornes de baja a 50 volts., o menos durante el primer minuto después de su desconexión. Este dispositivo puede ser interno o externo a los tanques de los condensadores y pueden estar conectado permanentemente, o bien conectarse automáticamente al salir de la operación los condensadores. El accionamiento de los dispositivos de descarga no debe efectuarse manualmente.

Los devanados de motores o transformadores, conectados en paralelo con los condensadores, pueden considerarse como dispositivos de descarga eficaces, siempre que no exista un equipo de desconexión o fusibles internos entre dichos devanados y los condensadores.

No es recomendable volver a conectar en línea un condensador que se encuentre todavía cargado. Estas implicaciones especiales, tales como la corrección del factor de potencia de motores para grúas y elevadores, bancos de condensadores de secciones des conectables que entran y salen rápidamente de operación, por

medio de un control automático, que es posible que haya que volver a conectar condensadores que acaban de salir de operación. En estos casos es recomendable instalar dispositivos especiales de descarga rápida, que sean capaces de descargar los condensadores en pocos segundos antes de que vuelvan a entrar en operación, o bien, usar equipo de conexión y desconexión provisto de un aditamento capaz de limitar las sobre corrientes y sobre voltajes transitorios asociados con la conexión de los condensadores.

Al instalar bancos de condensadores fijos, o bancos que van a quedar permanentemente conectados a la línea deben instalarse cuchillas desconectoras que permitan desconectar los condensadores durante las operaciones de mantenimiento sin que sea necesario paralizar el resto de la instalación.

Los condensadores deben instalarse respetando las distancias mínimas entre condensador y condensador que recomienda los fabricantes de los mismo y en una disposición tal que sean fácilmente desconectables y reemplazables, a fin de facilitar la buena y continua operación de los condensadores.

Los tanques de condensadores así como la cubierta o gabinetes que sirvan de protección de sus partes vivas, deben instalarse conectados a tierra.

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose condensadores entre el motor y su equipo de arrastre y parada, la potencia

reactiva de los condensadores no debe exceder a la necesaria corrección del factor de potencia del motor por unidad, en condiciones de marcha en vacío.

Re calibración de los elementos térmicos de motores de inducción compensados por condensadores.

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose los condensadores entre el motor y su dispositivo de protección térmica, deben recalibrarse los elementos teniendo en cuenta la nueva corriente que toma el motor con el factor de potencia corregido.

Cuando se corrige el factor de potencia de un transformador con un condensador instalado en el secundario del mismo, y existe la posibilidad de que los condensadores y el transformador trabajen en vacío, la potencia reactiva de los condensadores expresada en KVAR no debe exceder del 10% de la potencia nominal del transformador, expresada en KVA.

Cuando los condensadores se instalen dentro de un gabinete, puede ser conveniente hacerlo funcionar con ventilación forzada. En cualquier caso, las temperaturas ambiente del local o del interior del gabinete donde se encuentren funcionando los condensadores, no deben sobrepasar los límites recomendados por las normas del fabricante del mismo.

No es recomendable instalar los condensadores cerca de superficies radiadoras de calor cuya temperatura sea superior a la temperatura ambiente.

Los condensadores pueden ser operados a frecuencias y voltajes inferiores a sus valores nominales. Esto implica una disminución de la potencia reactiva proporcionada, que es directamente proporcional a la frecuencia y al cuadrado del voltaje.

Sin embargo, los condensadores, no deben colocarse en frecuencias o voltajes superiores a sus valores nominales. Las fluctuaciones de voltaje no deben exceder los límites superiores permitidos especificados por los fabricantes de los condensadores. En condensadores tipo intemperie este límite será 10% de sobre voltaje, con respecto al voltaje nominal de los condensadores.

Los condensadores deben instalarse con dispositivos de protección contra sobre corrientes que provengan tanto de fallas de un condensador, como cualquier cortocircuito de la instalación. La capacitancia interruptiva de estos dispositivos debe ser la adecuada para magnitud de sobre corrientes que deban relevar y debe planearse el que actúen con mayor velocidad que resulta práctica.

Cuando los condensadores se instalen entre un motor eléctrico y su dispositivo de protección, no es necesario instalar un dispositivo especial para los condensadores.

Pueden usarse fusibles de potencia tipo estándar tanto para la protección general de la instalación como para la protección individual de los condensadores. La protección general debe efectuarse con tantos fusibles como líneas energizadas

existan. Las protecciones individuales de los condensadores monofásicos pueden efectuarse con un solo fusible por condensador y la de los condensadores trifásicos con dos fusibles por condensador. Si los condensadores llevan instalados fusibles internos, pueden instalarse la protección individual. La corriente nominal de los fusibles no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal capacitiva que soporten.

Pueden usarse interruptores magnéticos o termo magnéticos. O cualquier otro tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar siempre que se tomen en cuenta los márgenes de corriente especificados por el fabricante de los equipos al ser operados con cargas capacitivas puras. La corriente nominal del interruptor en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

Los condensadores deben instalarse con un dispositivo de desconexión capaz de interrumpir la corriente de cada uno de los conductores energizados, con la excepción del caso en que los condensadores se instalen entre un motor eléctrico y su dispositivo de conexión y desconexión. En este caso, el dispositivo de conexión y desconexión del motor pueden servir para operar el motor y los condensadores juntos.

No es necesario que el dispositivo de desconexión interrumpa al mismo tiempo la corriente de todos los conductores de energizados.

Como dispositivo de conexión y desconexión pueden usarse cuchillas, contactores magnéticos o termo magnético, o cualquier tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar, siempre que se tome en cuenta las especificaciones del fabricante en estos equipos al ser operados para cargas capacitivas puras. La corriente nominal del dispositivo de conexión y desconexión en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

El dispositivo de conexión y desconexión debe ser capaz de soportar en posición de contactores cerrados, la corriente de cortocircuito del sistema en el punto donde se encuentren instalados los condensadores, aun cuando no este planeado o no sea capaz de interrumpir dichas corrientes de cortocircuito.

Cuando se instalen condensadores que entren y salgan de operación automáticamente, debe tenerse especial cuidado en la selección según las fluctuaciones de los valores del factor de potencia a fin de cumplir con los niveles y esquemas de compensación reactiva que se deseen.

Instalación en condiciones anormales de operación

- Exposición a choques mecánicos o vibraciones.
- Exposición a superficies radiadores de calor, que se encuentran a temperaturas superiores a la temperatura ambiente.
- Montaje que dificulte la ventilación de los condensadores.

- Operación a temperaturas ambientes más altas que la temperatura ambiente permisible según la norma de fabricación de los condensadores.
- Operación a altitudes mayores de los 1800 metros sobre el nivel del mar.
- Operaciones de redes con forma de onda de voltaje distorsionada.

En estos casos, se considera recomendable que el fabricante de los condensadores sea puesto en antecedentes de las condiciones en que se pretende operar.

Datos de placa de características

Los condensadores deben ir provistos de placas de características que indiquen:

- Nombre del fabricante.
- Voltaje nominal del condensador (voltaje aplicable entre bornes)
- Potencia reactiva nominal, o bien corriente nominal por fase.
- Frecuencia.
- Número de fases.
- Tipo de conexión cuando los condensadores sean trifásicos.
- Número de catálogo o especificación del fabricante.
- Número de serie del condensador
- Tipo de impregnaste y número de litros cuando este sea combustible.

- Indicación de si el condensador cuenta o no con un dispositivo de descarga interno.

4.9.15 Ventajas técnico económicas del aumento del factor de potencia

4.9.15.1 Ahorro en el pago de la factura de electricidad

El objetivo principal de la utilización de los condensadores industriales es la reducción de los costos de la energía, eliminando la penalización por bajo factor de potencia que es parte de nuestras tarifas de electricidad.

Normalmente la inversión en condensadores se recupera en un periodo de 1 a 3 años lo cual representa una tasa de retorno del capital mayor del 30%. La tasa de retorno dependerá del costo de los capacitores y el nivel de voltaje requerido y la cláusula de penalización por bajo factor de potencia.

4.9.15.2 Mejora de la eficiencia eléctrica

Otras ventajas de la corrección del factor de potencia se relacionan con el mejor comportamiento del equipo eléctrico al trabajar sin grandes cargas con exceso de potencia reactiva.

4.9.15.3 Liberación de capacidad del sistema³⁶

La potencia reactiva usada por circuitos inductivos consiste de una corriente reactiva o corriente magnetizante multiplicada por el voltaje del sistema. La potencia reactiva total (y la corriente) aumentan mientras el factor de potencia decrece, cuando la cantidad de elementos inductivos que requiere potencia reactiva se incrementa. Cada elemento inductivo añadido al sistema contribuye a los requerimientos de potencia reactiva totales.

Cuando el factor de potencia es mejorado, la cantidad de corriente reactiva que fluía a través de los transformadores, alimentadores, tableros, cables es reducida. Los condensadores para corrección de factor de potencia, conectado directamente a los terminales de las cargas inductivas tales como los motores, generan la mayor o toda la potencia reactiva necesaria para crear el campo magnético de los motores y así reduce o elimina la necesidad de suplir potencia desde el sistema de distribución.

Por ejemplo, si cuatro motores operan a un factor de potencia de 75%, la corriente del factor de potencia a 95%, liberara suficiente capacidad del sistema para instalar un motor adicional del mismo tamaño.

³⁶ Electric Systems. ICRC "Introduction Electric Configuration". Manual de Introducción a la configuración de redes eléctricas. 1999. p. 108.

Donde los transformadores y circuitos estén sobrecargados los condensadores de potencia instalados en varias fuentes de carga inductiva pueden liberar capacidad del sistema y permitir servicios o aumentos de cargas. La instalación de los condensadores de potencia puede, en algunas circunstancias eliminar la necesidad de instalar grandes transformadores de potencia, recablear una planta o posiblemente ambas cosas.

4.9.15.4 Mejoramiento de las condiciones de voltaje³⁷

Un bajo factor de potencia puede reducir voltajes en la planta cuando los KVAR son exigidos del sistema de distribución. Cuando el factor de potencia decrece, la corriente total del línea se incrementa (mayormente corriente reactiva) causando grandes caídas de voltaje a través de la impedancia de línea. Esto se debe a que la caída de voltaje en una línea es igual a la corriente que fluya multiplicada por la impedancia de la línea. Para mayores corrientes mayor será la caída de voltaje.

4.9.15.5 Reducción de las pérdidas de potencia³⁸

El bajo factor de potencia también puede causar pérdidas de potencia en el sistema de distribución interno de la planta. La corriente en los alimentadores es

³⁷STEVENSON, William D Análisis de Sistemas de Potencia, Washington: Prentice –Hall, 1960. p. 128.

³⁸ *Ibíd.*, p. 147.

alta debido a la presencia de la corriente reactiva. Cualquier reducción en esta corriente resulta en menores KW perdidos en la línea.

Los condensadores de potencia, reduciendo o eliminando la corriente reactiva en los alimentadores, pueden ahorrar una cantidad significativa de dinero al reducir la facturación de los KWH.

5 METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE PROYECTO

El tipo de proyecto será Teórico-Práctico, con este proyecto se pretende mejorar la parte didáctica en los talleres de máquinas eléctricas de la Institución Universitaria Pascual Bravo, con el fin de obtener la comprensión por parte de los alumnos en la parte teórica; en una aplicación común en el área de la electricidad.

Además permite evaluar las condiciones actuales de los equipos, sus elementos y las posibles soluciones que se puedan dar con los resultados obtenidos.

5.2 MÉTODO

El método a utilizar será el método inductivo.

5.2.1 Método Inductivo. Se aplicará en las etapas de montaje y acoplamiento del tablero simulador corrector factor de potencia, ya que a medida que cada una de estas se vaya implementando partiendo de la observación de cada fenómeno en particular, se tendrá que recurrir al chequeo, verificación y corrección del para acoplamiento y conexiones de los equipos, los cuales llevarán una secuencia lógica el montaje total del sistema y su funcionamiento óptimo.

5.3 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información se consultara de libros de eléctrica, Internet y normas vigentes.

5.4 ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR EL PROYECTO

Paso 1

- Recolección de la información.
- Análisis de las fuentes de información.
- Definir el relé corrector factor de potencia a utilizar en el tablero que permita la construcción del control automático.
- Adquisición de los elementos eléctricos a utilizar en la etapa de montaje del tablero simulador corrector factor de potencia automático.

Paso 2

- Montaje de los elementos que componen el control automático del tablero simulador corrector factor de potencia.
- Cableado de los elementos que componen el control automático del tablero simulador corrector factor de potencia.
- Revisión de las conexiones de los elementos que componen el control automático del tablero simulador corrector factor de potencia.
- Verificación del funcionamiento óptimo del control automático del tablero simulador corrector factor de potencia.

Paso 3

- Montaje del relé programable que compone el tablero simulador corrector factor de potencia.
- Cableado de todos los equipos que componen el tablero simulador corrector factor de potencia.
- Revisión de las conexiones del tablero simulador corrector factor de potencia.

Paso 4

- Verificación del funcionamiento óptimo del tablero simulador corrector factor de potencia.

6 RESULTADOS DEL PROYECTO

Etapa 1. Conformada por 1 Breaker de 3x125A, totalizador de protección de los circuitos de salida del corrector factor de potencia.

Etapa 2. Conformada por 6 Breakers de 3x20A, de protección de los circuitos de salida de corrector factor de potencia.

Etapa 3. Conformada por 2 Breakers, BC1 y BC2 que son los Breakers de control del relé corrector factor de potencia.

Etapa 4. Consta de 1 relé programable para el manejo automático de simulador corrector factor de potencia.

Etapa 5. La componen 5 contactores a 220V de potencia con resistencias de pre inserción para la conexión de los condensadores.

Etapa 6. Está compuesta por 6 condensadores cilíndricos de 6 kvars a 240V para el completo funcionamiento del corrector factor de potencia.

Etapa 7. La constituyen 2 bananas para la alimentación del control.

Etapa 8. La constituyen 2 bananas para la conexión de la señal que suministra externamente el transformador de corriente ubicado en la carga que se va a corregir.



Figura 19. Simulador corrector factor de potencia automático.



Figura 20. Simulador corrector factor de potencia automático.

7 CONCLUSIONES

- Un tablero corrector factor de potencia automático es construido para controlar los reactivos que generan los motores y equipos que retardan la corriente con respecto al voltaje.
- El corrector factor de potencia es controlado por un relé programable que controla automáticamente la entrada y salida de los condensadores.
- En los talleres de eléctrica un tablero didáctico sobre un simulador corrector factor de potencia servirá para el aprendizaje práctico y concreto sobre el tema, lo que hará que el estudiante tenga mucha más seguridad posterior a su graduación para enfrentar el mundo laboral en el campo de la energía eléctrica.
- La capacidad para desenvolverse en el mercado laboral implica que exista una mejor preparación desde la universidad, con laboratorios didácticos que permitan el desarrollo del conocimiento, en este caso el conocimiento sobre un simulador corrector factor de potencia automático.

8 RECOMENDACIONES

Este proyecto está enfocado a mostrar la aplicabilidad y funcionalidad de los tableros correctores factores de potencia automáticos que tienen las Industrias para corregir los reactivos que son generados principalmente por los motores, con este tablero los estudiantes pueden visualizar, configurar y realizar pruebas en los talleres de electricidad de la institución para tener el conocimiento de aplicabilidad en la industria.

Por lo anterior se recomienda.

- Implementar como una segunda fase a este proyecto, un tablero que genere reactivos para llevarle la señal al tablero simulador corrector factor de potencia y así visualizar como entran y salen automáticamente los capacitores.
- Actualizar la información a medida que salgan nuevas tecnologías buscando que la misma no se vuelva obsoleta.
- Implementar nuevas prácticas y desarrollo de guías apoyándose en el conocimiento de profesores y alumnos que se desenvuelvan en el área.

BIBLIOGRAFÍA

- CHAPMAN, Stephen Máquinas Eléctricas, México: Aguilar, 1983. p. 311,328.
- Electric Systems ACRC “Advanced Electric Configuration”, Manual Avanzado de configuración de redes electricas.1992. p. 58, 60, 82, 92,120-125,130.
- Electric Systems ICRC “Introduction Electric Configuration”. Manual de introducción a la configuración de redes eléctricas. 1999. p. 50,52-53, 60, 61,108.
- HAYT, J.R Análisis de Circuitos en Ingeniería, México: Aguilar, 1984. v.6, p. 45,48.
- INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS. Guide for service to equipment sensitive to momentary voltage disturbances. New York: IEEE, 1.995. 90-98 p. (IEEE Standard 1250-1995).
- INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS. Voltage sags indices. New York: IEEE, 2.001. 50-60 p. (IEEE Standard 1564 – 2001).
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.NTC 2050, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA.

- LEINWAND, Allan Bruce Pinsky CCIE # 1045, Configuración de Circuitos Eléctricos. Segunda edición, Electric Systems 2001. p. 30,32-35, 231, 235, 238,240-243,250-254.
- MELGUIZO BERMUDEZ, Samuel Instalaciones eléctricas, Medellín: Universidad Nacional, 1985. v.2, p. 243-256.
- MONTGOMERY, Douglas C Diseño y Análisis de Experimentos, Londres: MacMillan, 1975. v6, p. 250,260-262,265.
- NIELSSON, James Circuitos Eléctricos, Washington: Prentice-Hall, 1980. v7, p. 350, 383,384.
- OGATA, Katsuhiko Ingeniería de Control, México: Centeno, 1984. v3. p. 156-175.
- REGLAMENTO TÉCNICO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS-RETIE. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, RESOLUCION 18 0398, Abril 2004.
- SADIK, Alexander Fundamentos de Circuitos Eléctricos, México: Hispano-Americana, 1974. p. 90,115-120,125-131.
- STEVENSON, William D Análisis de Sistemas de Potencia, Washington: Prentice –Hall, 1960. p. 38, 128,147.

- KUO y GOLNARAGHI, Sistemas de Control Automático, Buenos Aires: Unión Tipográfica, 1982. p .45-48,65.

CIBERGRAFÍA

- <http://www.files.filefront.com/contenidom2/publesp>
- http://www.lifasa.com/descargas/es/not_tec_ene_react_e.pdf
- http://www.lovatoelectric.com/Download/I141IGBE02_12.pdf
- <http://www.monografias.com/trabajos12/facpo/facpo.shtml>
- <http://www.soludelibros.blogspot.com/contenidom2/publes>