



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL**

TÍTULO:

**“Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para
corregir el Factor de Potencia”**

AUTORES:

**Zamora Catagua Bosco Rodolfo
Calderón León Julio Israel**

**Trabajo de Investigación, Diseño e Implementación previo a la
obtención del título de:
INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICA**

TUTOR:

Ing. Zambrano Robayo Eduardo

**Guayaquil, Ecuador
2013**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Bosco Rodolfo Zamora Catagua** y **Julio Israel Calderón León**, como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico Mecánica**.

TUTOR (A)

Ing. Eduardo Zambrano Robayo

REVISOR(ES)

Ing. Jaime Layana Ch.

Ing. Rafael Hidalgo A.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Armando Heras Sánchez

Guayaquil, a los 24 días del mes de julio del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Bosco Rodolfo Zamora Catagua** y
Julio Israel Calderón León

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación “**Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para corregir el Factor de Potencia**” previa a la obtención del Título **de Ingeniero Eléctrico Mecánica**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 24 días del mes de julio del año 2013

LOS AUTORES

Bosco Rodolfo Zamora Catagua

Julio Israel Calderón León



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA CON
MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL**

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Bosco Rodolfo Zamora Catagua y
Julio Israel Calderón León**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para corregir el Factor de Potencia**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 24 días del mes de julio del año 2013

LOS AUTORES

Bosco Rodolfo Zamora Catagua

Julio Israel Calderón León

AGRADECIMIENTO

Con mucha admiración y respeto doy gracias a **Dios**; nuestro creador, por haberme permitido culminar con gran satisfacción el presente trabajo, por abrirme las puertas del éxito e iluminar el sendero de mi vida.

Agradezco de todo corazón a **mis seres queridos**, por brindarme su apoyo, amor, confianza y por transmitirme esa fuerza para seguir adelante venciendo los obstáculos del camino.

A la **Facultad de Educación Técnica Para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil**; por permitirme culminar mi carrera profesional y a **los señores docentes** por impartirme sus conocimientos teóricos y prácticos durante el período de estudio.

Al Ing. Eduardo Zambrano, Director de Tesis, por cooperar con el desarrollo de la investigación, brindándome sus recomendaciones y guiándome en el proceso del mismo.

A todas aquellas personas, quienes de una y otra manera colaboraron para la culminación exitosa de mi tesis de grado.

Bosco Rodolfo Zamora Catagua

DEDICATORIA

Con profundo amor; dedico todo mi esfuerzo y lucha constante en lo largo de mi carrera como estudiante y en el desarrollo de mi tesis para obtener mi título profesional; a quienes han compartido conmigo los momentos más difíciles de mi vida y aquellas personas que han estado a mi lado, brindándome su apoyo incondicional:

A **Dios**; por ser nuestro creador, quien me ha iluminado a seguir por el camino correcto, sin desmallar en los obstáculos que se presentaron en esta etapa de mi vida.

A mis padres; **Bosco y Antimia**; quienes con su amor y dedicación supieron guiarme por el buen camino y hacer de mi un hombre con metas que cumplir en mi vida, a mis hermanos que se han mantenido siempre a mi lado.

En especial dedico este éxito a mi esposa **Verónica Menéndez** y a mi hijo **Bosco Jared**, quienes han sabido comprenderme, brindándome todo su amor y su apoyo en cada momento difícil que se presentaron en este proceso, que se han mantenido a mi lado en esta dura etapa y quienes fueron mi fuerza fundamental para lograr esta meta.

Bosco Rodolfo Zamora Catagua

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy infinitamente gracias a **Dios**, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de **mi madre**, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis hermanas, que con sus consejos me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

Agradezco especialmente **a mis tíos Gabriel, Franklin Calderón Moncada** quienes con su ayuda, cariño y comprensión han sido parte fundamental de mi vida.

Al Ing. Efraín Suarez, por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

Julio Israel Calderón León

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a **Dios**, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi padre, a pesar de nuestra distancia paternal ya que estuvo pendiente de lo económico, A mis dos Abuelas quien quiero como a una madre, porque ellas fueron mis pilares principales en mi vida y compartieron momentos significativos conmigo.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

También le dedico a mi comprometida **Solange López** por haberme dado esa fuerza y ese aliento en los últimos semestres de mi estudios.

Julio Israel Calderón León

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pag.
Certificación	II
Declaración de Responsabilidad	III
Autorización	IV
Agradecimiento	V
Dedicatoria	VI
Agradecimiento	VII
Dedicatoria	VIII
Índice General	IX
Índice de Tablas	XIV
Índice de Gráficos	XVI
Resumen	XIX
Abstract	XX
Introducción	1
Capítulo 1:	
1. Planteamiento del problema	2
1.2. Justificación del Tema	3
1.3. Hipótesis	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
Capítulo 2:	
2. Generalidades para implementar bancos de capacitores	5
2.1. Tipos de cargas	5
2.1.1. Relación del factor de potencia y tipos de cargas en los Circuitos eléctricos	7
2.1.1.1. Cargas resistivas	7
2.1.1.2. Cargas inductivas	9
2.1.1.3. Cargas capacitivas	11

2.1.1.4.	Cargas combinadas	12
2.2.	Tipos de potencia	13
2.2.1.	Potencia activa (p)	13
2.2.2.	Potencia reactiva (q)	14
2.2.3.	Potencia aparente (s)	15
2.2.4.	El triángulo de potencia	16
2.3.	Métodos de compensación de potencia reactiva	18
2.3.1.	Compensación de potencia reactiva mediante máquinas sincrónicas	19
2.3.2.	Compensación de potencia reactiva mediante cev's.	19
2.3.3.	Compensación de potencia reactiva mediante bancos de capacitores	20
2.4.	Corrección del factor de potencia	20
2.4.1.	Factor de potencia	21
2.4.1.1.	Planteamiento analítico para la corrección del factor de potencia	23
2.5.	Definición de un capacitor	26
2.6.	Energía almacenada	28
Capítulo 3:		
3.	Aspectos a considerar para instalar bancos de capacitores	29
3.1.	Partes principales de un capacitor de potencia	29
3.2.	Conexión de los bancos de capacitores	32
3.2.1.	Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra	32
3.2.2.	Conexión estrella con neutro flotante	34
3.2.3.	Conexión delta	34
3.3.	Selección del banco de capacitores	35
3.4.	Efecto de resonancia	39
3.4.1.	Resonancia serie	39
3.4.2.	Resonancia paralelo	41

3.5.	Componentes armónicas	43
Capítulo 4:		
4.	Metodología para la compensación de potencia reactiva	48
4.1.	Cálculo de la potencia reactiva	48
4.1.1.	Cálculo en instalaciones industriales con medición de energía reactiva	48
4.1.2.	Cálculo de la potencia reactiva por el método de tablas	51
4.1.3.	Cálculo de la potencia reactiva a partir de la factura de la Distribuidora de Energía Eléctrica	53
4.2.	Cálculo del número de unidades	54
Capítulo 5:		
5.	Principio del motor de corriente alterna	57
5.1.	Motores eléctricos	57
5.1.1.	Rotor	58
5.1.1.1.	Tipos de rotores	59
5.1.1.1.1.	Rotor de jaula de ardilla simple	59
5.1.1.1.2.	Rotor de jaula de ardilla doble	60
5.1.1.1.3.	Rotor con ranura profunda	61
5.1.1.1.4.	Rotor de anillos rozantes	62
5.1.2.	Estatore	62
5.1.2.1.	Arranque del estator	64
5.2.	Principio de funcionamiento de un motor eléctrico	64
5.3.	CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR ELÉCTRICO	66
5.3.1.	Velocidad de rotación	67
5.3.2.	Par motor	67
5.4.	CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS	68
5.4.1.	Motores de CC	69
5.4.2.	Motores de CA	70
5.4.2.1.	Motores de inducción (Asíncronos)	71
5.4.2.2.	Motores de inducción (Síncronos)	76

5.4.2.2.1.	Principio de funcionamiento síncrono	77
5.4.2.2.2.	Velocidad	78
5.4.2.2.3.	Inductor e inducido	79
5.5.	MOTORES MAGNÉTICOS	79
5.5.1.	Campo magnético giratorio de un motor trifásico asincrónico	80
5.5.2.	Campo magnético rotativo	82
5.5.2.1.	Principio de funcionamiento	82
5.6.	CONTACTOR.	84
5.6.1.	Partes del contactor	87
5.6.1.1.	Carcaza	87
5.6.1.2.	Electroimán	87
5.6.1.3.	Bobina	87
5.6.1.3.1.	Bobina energizada con CA	88
5.6.1.3.2.	Bobina energizada con CC	88
5.6.1.4.	El Núcleo	89
5.6.1.5.	Armadura	89
5.6.1.6.	Contactos	90
5.6.1.6.1.	Contactos principales	91
5.6.1.6.1.	Contactos secundarios	93
5.6.2.	Funcionamiento del Contactor	94
5.6.3.	Clasificación de los Contactores	95
5.6.3.1.	Por su construcción	95
5.6.3.2.	Por el tipo de corriente eléctrica que alimenta la bobina	95
5.6.3.3.	Por la carga que pueden maniobrar (categoría de empleo)	96
5.6.4.	Categoría de empleo	96
5.6.5.	Criterios para la elección de un Contactor	97
5.6.6.	Ventajas del uso de los Contactores	98
5.6.7.	Breakers (Interruptores Automáticos)	99

Capítulo 6

6.	REGULADOR DE ENERGÍA REACTIVA RTR	100
6.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES	100
6.1.1.	Comprobación a la recepción del regulador	101
6.2.	DESCRIPCIÓN GENERAL	102
6.2.1	Display	103
6.2.2	Teclas de Navegación	105
6.3.	INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA	106
6.3.1.	Instalación del equipo	107
6.3.2.	Instrucciones de conexión	108
6.3.2.1.	CONEXIONES	109
6.4.	PROGRAMACIÓN DEL REGULADOR	115
6.4.1.	Secuencia de programación de parámetros	117
6.4.2.1.	Consigna del $\cos\phi$	118
6.4.2.2.	Ajuste de la corriente reactiva C / K	118
6.4.2.3.	Selección tipo de maniobra	121
6.4.2.4.	Delay: Programación tiempos de conexión y desconexión	122
6.4.2.5.	Steps: Programación del número de salidas del relé	122
6.5.	CONSIGNAS DE SEGURIDAD	123
6.6.	MANTENIMIENTO	123

Capítulo 7.

7.1.	Conclusiones	124
7.2.	Recomendaciones	125
	Bibliografía	126

ÍNDICE DE TABLAS

Índice de Contenidos	Pag.
Capítulo 2:	
Tabla 1. Valores aproximados del factor de potencia para las cargas más comunes	22
Tabla 2. Factor de tabla para el cálculo de la potencia del banco de Capacitores	25
Capítulo 3:	
Tabla 3. Valores para bancos de capacitores monofásicos	36
Tabla 4. Valores para bancos de capacitores trifásicos en baja tensión	37
Tabla 5. Capacidades en kVAr para capacitores monofásicos en media tensión	38
Tabla 6. Mínimo número de unidades recomendadas en paralelo por grupo serie para limitar la tensión a un máximo del 10% sobre la nominal, cuando falla una unidad	39
Capítulo 4:	
Tabla 7. Valores para bancos de capacitores trifásicos en baja tensión de 220 V.	51
Tabla 8. Tabla para el cálculo del Factor de potencia deseado del banco de capacitores.	52
Tabla 9. Capacidades en kVAr para capacitores monofásicos en baja tensión	53
Capítulo 5:	
Tabla 10. Revoluciones por minutos (RPM) dependiendo el número de polos	83
Capítulo 6:	
Tabla 11. Números de relé	100
Tabla 12. Modo normal de funcionamiento	105

Tabla 13.	Modo de programación	106
Tabla 14.	Características técnicas	114
Tabla 15.	Programación del Regulador	115
Tabla 16.	Señales de ayuda:	117
Tabla 17.	Ajustes característicos de C / K	120
Tabla 18.	Programa de trabajo del regulador	121
Tabla 19.	Número máximo de salidas de relé	122

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Índice de Contenidos	Pag.
Capítulo 2:	
Figura 1. Elementos lineales y no lineal	6
Figura 2. Forma de onda de corriente	6
Figura 3. Diagrama fasorial de un circuito resistivo	8
Figura 4. Onda de tensión y corriente en fase	9
Figura 5. Diagrama fasorial de un circuito inductivo	10
Figura 6. Onda de corriente atrasada 90° con respecto a la Tensión	11
Figura 7. Diagrama fasorial de un circuito capacitivo	11
Figura 8. Onda de corriente adelantada 90° con respecto a la Tensión	12
Figura 9. Representa la potencia activa (P) en fase con la Tensión (V)	14
Figura 10. Potencia reactiva en adelanto (QC) o atraso (QL) con respecto a la tensión	15
Figura 11. Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y la Potencia reactiva	16
Figura 12. Triángulo de potencia	16
Figura 13. Triángulo de potencia en un circuito trifásico	21
Figura 14. Corrección del $\text{Cos } \phi_1$ a $\text{Cos } \phi_2$, mantenido el suministro de la carga constante	24
Figura 15. Cambio de potencia activa y reactiva con Factor de Potencia, mantenido la potencia aparente de la carga constante	26
Figura 16. Campo electrostático entre las dos placas del capacitor	27

Capítulo 3.

Figura 17.	Ilustración de una armadura de capacitor	30
Figura 18.	Arreglo de una unidad capacitiva y detalles del capacitor interno	32
Figura 19.	Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra	33
Figura 20.	Conexión estrella con neutro flotante con protección en el neutro	34
Figura 21.	Conexión delta para motores en baja tensión	35
Figura 22.	Circuito resonante serie	40
Figura 23.	Circuito resonante paralelo	41
Figura 24.	Corriente armónica en un banco de capacitores de 60 kVAr, 480 Volts.	43
Figura 25.	La onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz)	44
Figura 26.	La onda deformada compuesta por la superposición de una fundamental a 60 Hz y armónicas menores de tercer y quinto orden	45

Capítulo 5.

Figura 27.	Rotor, estator y ventilador de un motor eléctrico	58
Figura 28.	Rotor de jaula de ardilla simple	60
Figura 29.	Rotor de jaula de ardilla doble	61
Figura 30.	Rotor con ranura profunda	61
Figura 31.	Estator	63
Figura 32.	Motor asíncrono trifásico conectado a su bobina	73
Figura 33.	Creación de un campo giratorio	74
Figura 34.	Motor asíncrono trifásico	75

Figura 35.	Motor eléctrico con movimiento en magnetismo y electricidad	80
Figura 36.	Tres posiciones del giro, con la distribución de potencia del campo resultante	82
Figura 37.	Campo magnético de un rotor y estator	83
Figura 38.	Partes del contactor	86
Figura 39.	Funcionamiento de conductores que permiten o interrumpen el paso de corriente	90
Figura 40.	Interruptores de baja tensión	99
Capítulo 6.		
Figura 41.	Regulador RTR	100
Figura 42.	Indicación de la tensión de alimentación y frecuencia de trabajo	102
Figura 43.	Display pidiendo compensación de los bancos	103
Figura 44.	Display de indicador de pasos conectados	104
Figura 45.	Diagrama de conexión exterior	107
Figura 46.	Diagrama de conexión de 6 relés	110
Figura 47.	Diagrama de conexión de 12 bornes exterior	111

RESUMEN

El presente trabajo de implementación de un tablero o módulo didáctico de corrección del Factor de Potencia tiene como finalidad complementar el laboratorio de electricidad de la Facultad Técnica Para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, como una necesidad para los estudiantes de los semestres inferiores, quienes solo lo han analizado por medio de cálculos y teorías; pero no lo han llevado a la práctica.

Por medio de éste módulo podemos ver y analizar las conexiones de los capacitores en delta y visualizarlo en un regulador RTR simulando una carga mayor en el motor para que empiecen a trabajar los relés internos en el regulador.

Una vez programado el RTR se activa los relés enclavando las bobinas de los contactores del banco de capacitor que él requiere para compensar el bajo factor de potencia, ya que lo que podemos ver y simular es igual a lo que se pone en la práctica a nivel industrial.

La metodología utilizada en nuestro trabajo es la implementación, debido a la importancia y utilización que se da en la actualidad para la mayoría de las Industrias del Ecuador y el mundo; en el uso de la corrección del bajo Factor de Potencia, en el que se utilizó un tablero de plancha galvanizada pintada al horno de 60 cm x 100 cm x 25 cm.; y en su interior un motor de medio HP marca SIEMENS, un regulador de energía reactiva RTR de seis pasos, breakers trifásicos, contactores, un relé térmico, borneras, un disco de freno, capacitores, luz piloto, pulsador de paro, marcha y emergencia, conductores y clavija trifásica. Todo este sistema funciona a 220 voltio trifásico y se adaptó a una base construida con ángulos de hierro y llantas giratorias para su fácil movilización.

ABSTRACT

This work of implementation of a board or didactic module for power factor correction is intended to supplement the electricity lab Development Technical Faculty of the Catholic University of Santiago of Guayaquil, as a necessity for students in lower semesters, who have analyzed only by calculations and theories, but they have not been implemented.

Through this module we can see and analyze the connections of the capacitors in delta and visualize it in a RTR regulator simulating a greater load on the engine to start working the internal relays in the controller.

Ever programmed RTR is activated by locking relays contactor coils capacitor bank that it requires to compensate the low power factor, as we can see and simulate equals what you put into practice to Industrial nivel.

The methodology used in our work is the implementation, due to the importance and use made today for the most of the Ecuador Industries and the world in the use of the correction of low power factor, where a furnace painted galvanized sheet board 60 cm x 100 cm x 25 cm. was used, and in its inside a half HP motor SIEMENS, a RTR reactive power regulator six-step, three-phase breakers, contactors, a thermal relay, terminal blocks, a brake disc, capacitors, pilot light, shop pushbutton, start and emergency, cables and three-phase plug. All this system operates at 220 three phase volt and adapted to a base built with iron angles and rotating wheels for its easy mobilization.

INTRODUCCIÓN

En nuestra actual sociedad la presencia y el uso de la energía eléctrica es de vital importancia, la usamos en todo momento ya sea para calentar, iluminar, para accionar motores eléctricos, en la industria, para comunicarnos, etc. Según sea el tipo de carga usada, la energía entregada puede ser activa, reactiva o en su mayoría, una combinación de ambas.

Actualmente la eficiencia en el consumo energético es tema de actualidad, desde la conciencia a los usuarios en el uso racional de la energía hasta las fábricas e industrias que mediante sus procesos les es necesaria la energía.

En el país, las empresas de distribución de energía, cobran una tarifa especial a aquellas Industrias que consumen mucha energía si pasan de cierto rango; Potencia Reactiva, por consumo superior a lo permitido, por hora pico, cada usuario conectado a la red eléctrica pertenece a una categoría de consumo, la categoría dependerá si es para uso residencial, comercial o Industrial y así será la factura al final de cada mes.

En una industria donde su equipo eléctrico lo constituyen motores, iluminación con balastos, equipos de taladro, tornos, equipo de refrigeración etc., todo aquello que necesite magnetizarse presentará inconvenientes al momento de operar en la red, la empresa de electricidad le estará penalizando por bajo factor de Potencia.

La Empresa Distribuidora de Energía Eléctrica es la encargada de penalizar las industrias cuando no cumplen con un factor de potencia reactiva regularizado de 0,92.

CAPITULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La creciente demanda de energía eléctrica viene exigiendo altas inversiones en generación de energía para atender la tasa de desenvolvimiento global, tanto en los países emergentes, donde la población ha conquistado mayor acceso a los bienes de consumo, cuanto en los países desarrollados, donde la eficiencia energética ha sido objeto de atención como forma de reducir altas inversiones en generación de energía. Estas inversiones, no en tanto, además de planeadas a medio y largo plazo, implican en el uso de recursos naturales cada vez más escasos y sujetos a presiones ambientales.

En nuestro entorno empresarial y residencial tenemos equipos que trabajan ya sea en forma de luz, calor, sonido, rotación y movimiento, etc. consumen una cantidad de energía eléctrica equivalente a la que entrega directamente de la fuente de electricidad. Esta energía consumida se denomina activa, y es facturado por la respectiva empresa distribuidora del suministro eléctrico.

La mejor manera de aumentar la oferta de energía eléctrica ha sido combatir el desperdicio y aumentar la eficiencia energética. Se estima que actualmente 40% del consumo global de energía eléctrica esté relacionada con el uso de motores eléctricos. Además de eso, la aplicación de nuevas tecnologías se ha tornado cada vez más frecuente en los diversos sectores de la industria, trayendo profundos cambios en la forma de aplicación y control de motores eléctricos.

Teniendo en consideración lo antes expuesto cabe resaltar la importancia que tiene el desarrollar este proyecto, que está dedicado al mejoramiento del

Suministro eléctrico a nivel industrial, para lo cual se plantea la implementación de un módulo didáctico para corregir el factor de potencia, el mismo que será usado en el laboratorio de electricidad de la Facultad Técnica Para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

El presente proyecto se justifica pensando en los métodos de aprendizaje de los estudiantes de la Facultad Técnica Para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, debido a que es necesario implementar un módulo didáctico para la corrección del factor de potencia en el laboratorio de electricidad, de esta manera poder realizar la práctica y lograr mejores conocimientos a nivel académico.

Este inconveniente se puede reducir o eliminar con el uso de condensadores instalados en la proximidad de las cargas; con capacidad para suministrar parte o toda la corriente de magnetización requerida por el usuario.

1.3. HIPÓTESIS

En el presente proyecto se diseñará e implementará un módulo didáctico de un sistema automatizado, que nos permita corregir el factor de potencia de un motor trifásico didáctico en vacío y a plena carga aplicando un reductor mediante capacitores didácticos para la construcción de un equipo *regulador de energía reactiva RTR* de 6 pasos, desarrollado en un modelo para el aprendizaje y realización de prácticas estudiantiles en las aulas de la **Facultad de Educación Técnica Para el Desarrollo de la “Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”**.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Colaborar con el aprendizaje y conocimientos en la educación práctica de los estudiantes de la FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, mediante el diseño e implementación de un módulo didáctico para la corrección del factor de potencia, que permita entender con mayor claridad el funcionamiento del mismo en la práctica laboral a nivel industrial.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Brindar las bases para el desarrollo teórico-práctico necesario, a fin de realizar un aprendizaje experimental que dirija al estudiante a obtener sus propias conclusiones.

Fortalecer los conocimientos prácticos de los estudiantes que se sumergen en el estudio de esta especialidad.

Obtener valores reales mediante la implementación del módulo didáctico del factor de potencia para la aplicación de la práctica.

Que el regulador de energía reactiva RTR tenga la posibilidad de editar, además de las series de control ya existentes, cualquier otra serie, lo cual permite utilizar el regulador para cualquier sistema de compensación. La visualización de diferentes parámetros de red así como el almacenamiento de determinados valores del sistema de compensación facilitan el análisis de errores y la monitorización del sistema.

CAPITULO 2

GENERALIDADES PARA IMPLEMENTAR BANCOS DE CAPACITORES

En este capítulo se analizan las cargas conectadas a la red eléctrica, algunas de estas cargas provocan variaciones en la forma de onda de tensión y corriente, los métodos para efectuar una compensación de potencia reactiva y como se corrige el factor de potencia, estos conceptos serán de gran utilidad para el estudio de capítulos posteriores.

El empleo de bancos de capacitores fijos en los sistemas de distribución y transmisión es una herramienta útil para compensar la demanda de reactivos y la caída de tensión de las líneas. Sin embargo, se pueden originar imprevistos que descompensan la confiabilidad del sistema.

2.1. TIPOS DE CARGAS

Una carga es un elemento que consume energía eléctrica, en general existen dos tipos de cargas dentro de los sistemas eléctricos: *Cargas lineales* y las *Cargas no lineales*. Una carga es **lineal** cuando la tensión aplicada a sus extremos y la corriente que pasan por ella están estrechamente relacionadas como se puede observar en la figura 1 a). Por el contrario, se dice que una carga es **no lineal** cuando la relación tensión/corriente no es constante lo cual se representa en la figura 1 b).

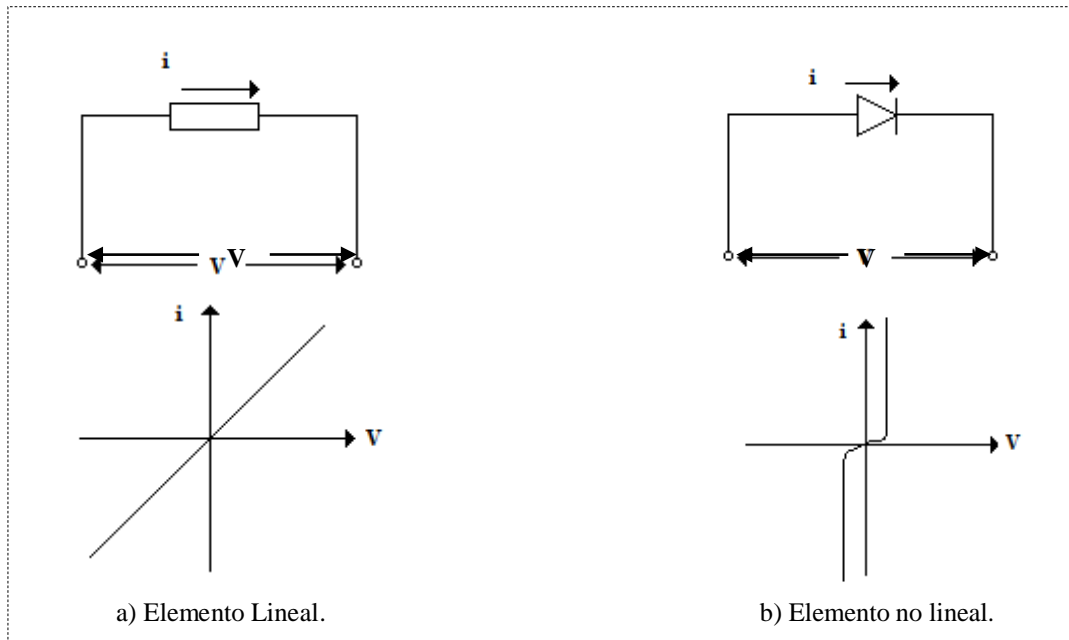


Figura 1. Elementos lineal y no lineal

Fuente: http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=1&id_sec=5

Las cargas no lineales conectadas a la red de corriente alterna absorben corrientes que no son senoidales. Esto se observa en la figura 2.

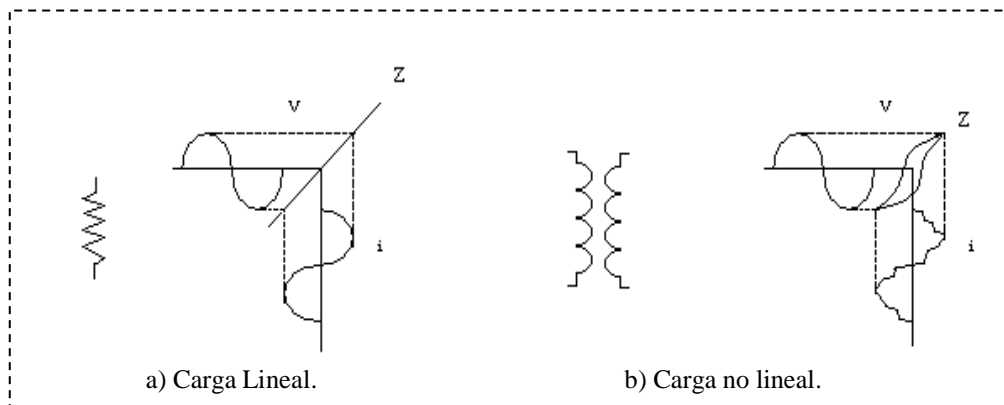


Figura 2. Forma de onda de corriente.

Fuente: http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=1&id_sec=5

A continuación se citan algunas cargas típicas no lineales:

- Equipos electrónicos, en general monofásicos, que internamente trabajan con corriente continua (ordenadores, impresora, autómatas programables, etc.).
- Instalaciones de iluminación con lámparas de descarga.
- Transformadores, reactancias con núcleos de hierro, etc., cuya curva de magnetización es no lineal.

2.1.1. RELACIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA Y TIPOS DE CARGAS EN LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS

En términos generales pueden distinguirse tres tipos de cargas eléctricas al conectar un equipo a una red, por la cual, circula corriente eléctrica expresada en amperes (A) y tensión expresado en volts (V).

2.1.1.1. Cargas resistivas

Tales cargas son referidas como si tuvieran una resistencia eléctrica designada con la letra R y expresada en Ohm (Ω). Las cargas resistivas pueden encontrarse en equipos como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, en donde la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica, en cuyo caso el factor de potencia toma el valor de 1.0.

En un circuito puramente resistivo, la corriente está en fase con la tensión y es función inmediata de la tensión. Por lo tanto, si la tensión y la corriente están en fase, tenemos que:

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

En donde:

I = Corriente eléctrica (A).

V = Tensión eléctrica (V).

R = Resistencia eléctrica (Ω).

En la Figura 3, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas resistivas.

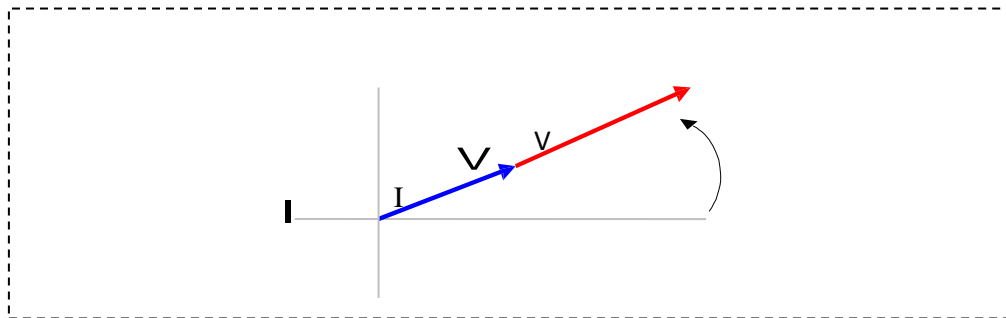


Figura 3. Diagrama fasorial de un circuito resistivo.

Fuente: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=15>

La resistencia eléctrica absorbe potencia en Watts igual a:

$$P = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad (2)$$

En donde:

P = Potencia activa (W)

Las cargas de tipo resistivo que se encuentran más comúnmente en los sistemas eléctricos ya sea residencial, industrial o comercial son los siguientes:

- Hornos eléctricos.
- Calefactores.
- Planchas.
- Alumbrado incandescente.

En la figura 4, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfase que existe entre ellas, la cual es igual a cero, es decir, se encuentran en fase.

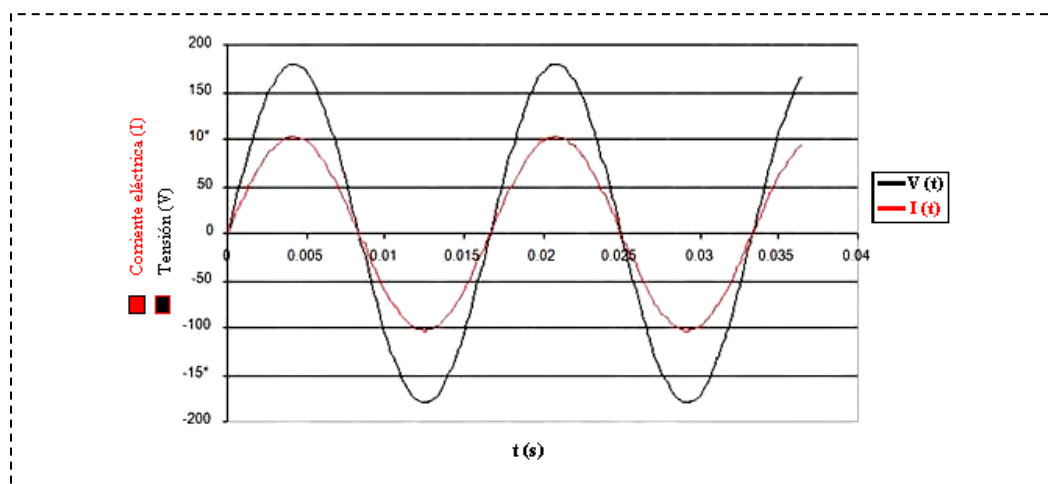


Figura 4. Onda de tensión y corriente en fase.

Fuente: http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=1&id_sec=5

2.1.1.2. Cargas inductivas

Las cargas inductivas son encontradas en cualquier lugar donde haya bobinados involucrados, por ejemplo en los equipos del tipo electromecánicos como los motores, balastros, transformadores, entre otros; además de consumir potencia activa, requieren potencia reactiva para su propio funcionamiento, por lo cual trabajan con un factor de potencia menor a 1.0.

Considerándose por lo tanto que las cargas inductivas, sean el origen del bajo factor de potencia (menores a 0.9). En un circuito puramente inductivo la corriente no está en fase con la tensión ya que va atrasada 90° con respecto a la tensión. En la Figura 5, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas inductivas.

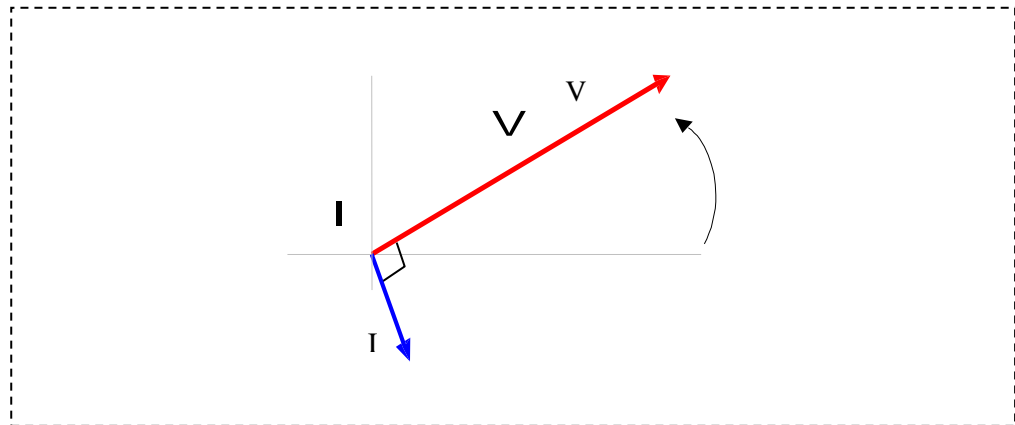


Figura 5. Diagrama fasorial de un circuito inductivo.

Fuente: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=15>

Algunos equipos de cargas del tipo inductivo son los siguientes:

- Transformadores.
- Motores de inducción.
- Alumbrado fluorescente.
- Máquinas soldadoras.

En la figura 6, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo y el desfase de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

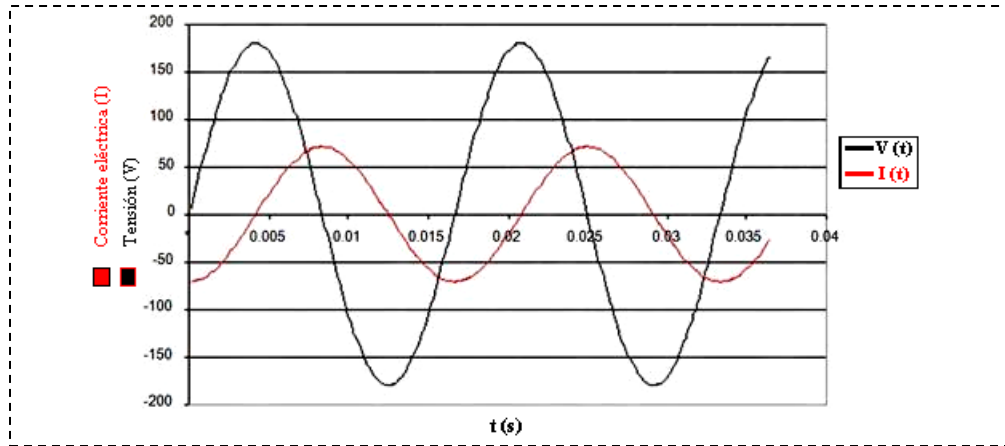


Figura 6. Onda de corriente atrasada 90° con respecto a la tensión.

Fuente: http://www.unicrom.com/Tut_el_condensador_y_la_corrienteAC.asp

2.1.1.3. Cargas capacitivas

Las cargas capacitivas se presentan en los capacitores y se caracterizan porque la corriente se haya adelantada respecto de la tensión 90° . En la figura 7, se presenta el diagrama fasorial correspondiente a las cargas capacitivas.

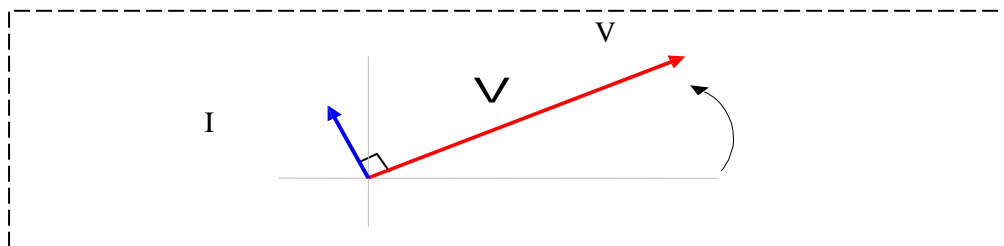


Figura 7. Diagrama fasorial de un circuito capacitivo.

Fuente: <http://www.afinidadelectrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=15>

Las cargas de tipo capacitivo son:

Bancos de capacitores

Motores síncronos.

En un circuito puramente capacitivo, no existe consumo de energía aún si hay corriente circulando. Las cargas capacitivas generan potencia reactiva expresada en volts ampers reactivos (VAr). En la figura 8, se muestran las ondas senoidales de tensión y corriente eléctrica en función del tiempo, para este caso la corriente se adelanta 90° con respecto a la tensión.

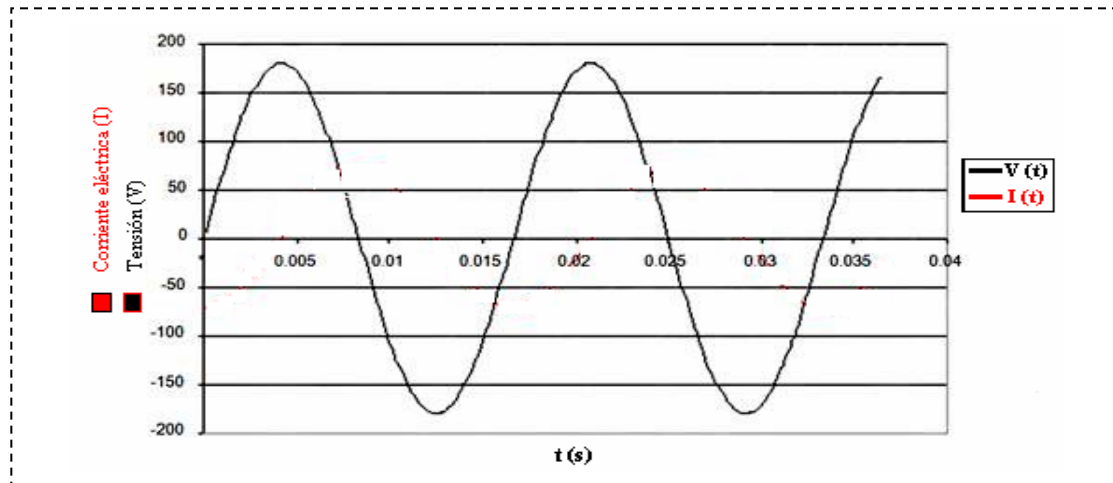


Figura 8. Onda de corriente adelantada 90° con respecto a la tensión.

Fuente: http://www.unicrom.com/Tut_circuitoRC.asp

2.1.1.4. Cargas combinadas

En la práctica una carga no está constituida solamente por cargas resistivas, inductivas o capacitivas, ya que estas tres cargas con frecuencia coexisten en los circuitos eléctricos. Sin embargo para el caso de una industria la carga más predominante es la carga inductiva, de ahí que sea el factor por el cual se realiza este trabajo. Las diversas cargas son usualmente abastecidas directamente de la red principal de suministro eléctrico, sin embargo el suministro de potencia reactiva puede ser suministrado por equipos conectados en un punto de la red eléctrica, normalmente se utiliza para ello los bancos de capacitores que son fuentes suministradoras de potencia reactiva.

2.2. TIPOS DE POTENCIA

2.2.1. POTENCIA ACTIVA (*P*)

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo, la origina la componente de la corriente que está en fase con la tensión. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se designa con la letra *P*. De acuerdo con su expresión, la ley de Ohm y el triángulo de impedancias:

$$P = I \cdot V \cdot \cos \varphi = I \cdot Z \cdot I \cos \varphi = I^2 \cdot Z \cdot \cos \varphi = I^2 \cdot R \quad (3)$$

Donde:

I = Corriente

Z = Impedancia (Ω).

$\cos \varphi$ = Coseno del ángulo

La unidad es el Vatio que indica que la potencia activa es debido a los elementos resistivos.

La potencia activa *P*, por originarse por la componente resistiva, es un vector a cero grados, como se puede apreciar en la figura 9.

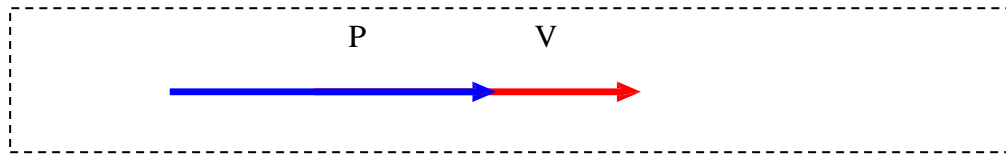


Figura 9. Representa la potencia activa (P) en fase con la tensión (V).

Fuente: <http://webs.uvigo.es/quintans/recursos/Web>

2.2.2. POTENCIA REACTIVA (Q)

Esta potencia no tiene tampoco el carácter realmente de ser consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos que generan campos magnéticos y campos eléctricos. La origina la componente de la corriente que está a 90° con respecto a la tensión, en adelante o en atraso. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil y se designa con la letra Q.

A partir de su expresión,

$$Q = I \cdot V \cdot \text{sen } \varphi = I \cdot Z \cdot I \text{ sen } \varphi = I^2 \cdot Z \cdot \text{sen } \varphi = S \cdot \text{sen } \varphi$$

(4)

Donde:

Q = Potencia reactiva

I = Corriente

Z = Impedancia (Ω)

Sen φ = Seno del ángulo

La unidad es el VAR. Lo que reafirma en que esta potencia es debida únicamente a los elementos reactivos, los cuales pueden ser del tipo inductivo Q_L o capacitivo Q_C , como se observa en la figura 10.

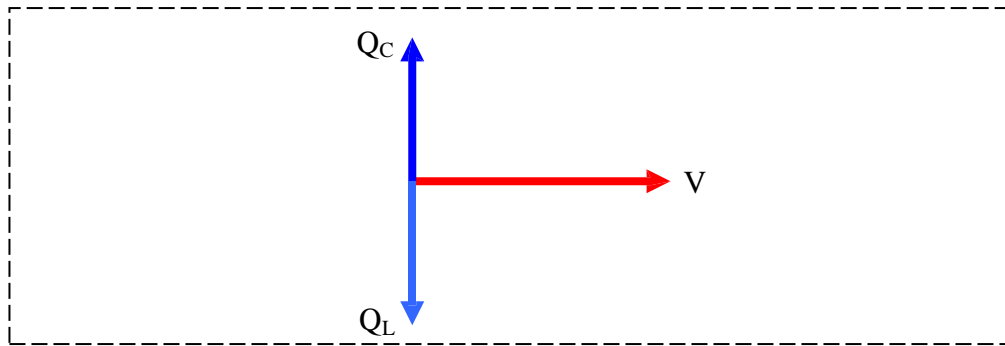


Figura 10. Potencia reactiva en adelanto (Q_C) o atraso (Q_L) con respecto a la tensión
Fuente: <http://webs.uvigo.es/quintans/recursos/Web>

2.2.3. POTENCIA APARENTE (S)

La potencia aparente (también llamada compleja) de un circuito eléctrico de corriente alterna es la suma, por ser la potencia total es el vector resultante de sumar la potencia activa y la potencia reactiva, dicho diagrama fasorial se muestra en de la figura 11.

Esta potencia no es la realmente consumida o útil, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ($\cos \varphi=1$) ya que entonces la potencia activa es igual a la potencia aparente, esta potencia también es indicativa de que en la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a "almacenar" bobinas y condensadores. Se la designa con la letra **S**. La ecuación para calcular la potencia aparente es:

$$S = I \cdot V = I \cdot Z \cdot I = I^2 \cdot Z \quad (5)$$

La unidad es el VA

I = Corriente

Z= Impedancia (Ω)

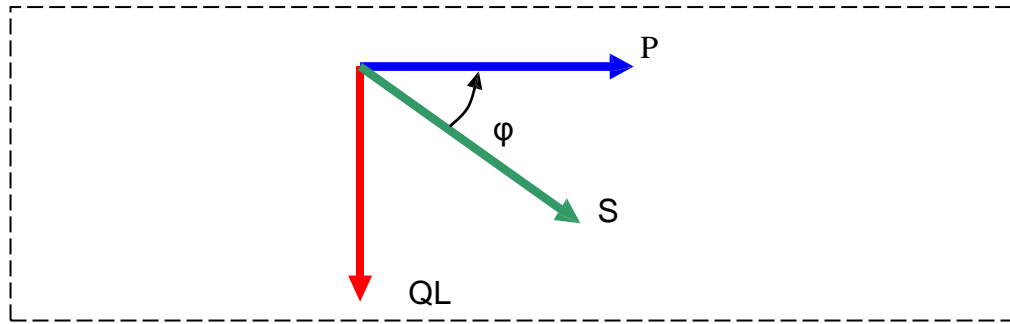


Figura 11. Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y la potencia reactiva

Fuente: <http://webs.uvigo.es/quintans/recursos/Web>

2.2.4. EL TRIÁNGULO DE POTENCIA

El llamado triángulo de potencias es la mejor forma de observar y comprender de forma gráfica qué es el factor de potencia ó $\cos \varphi$ y su estrecha relación con los restantes tipos de potencia presentes en un circuito eléctrico de corriente alterna, además de observar la interacción de una potencia con respecto a las otras dos ya que al modificar una potencia repercutiría en la modificación de las otras dos potencias.

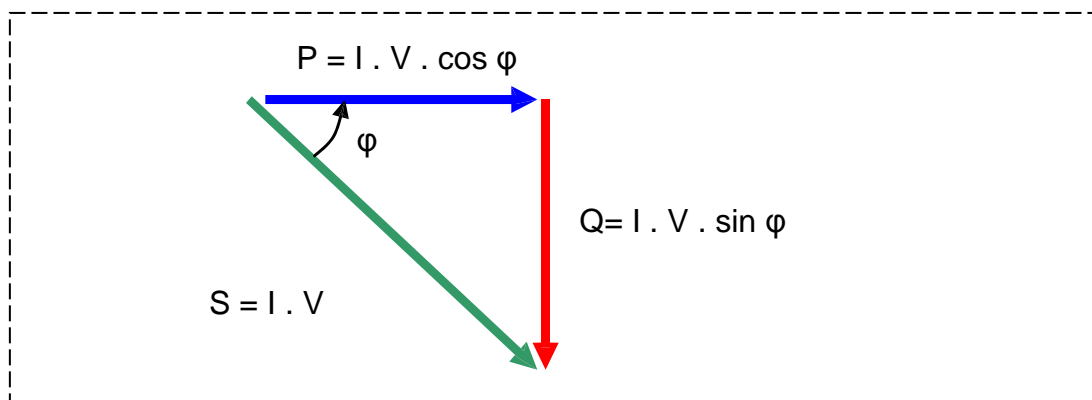


Figura 12. Triángulo de potencia

Fuente: <http://www.stilar.net/Archivos%20Web/Compensacion>

Como se puede observar en el triángulo de la figura 12, el factor de potencia ó $\text{Cos } \varphi$ representa el valor del ángulo que se forma al representar gráficamente la potencia activa (P) y la potencia aparente (S), es decir, la relación existente entre la potencia real de trabajo y la potencia total consumida por la carga o el consumidor conectado a un circuito eléctrico de corriente alterna. Esta relación se puede representar también, de forma matemática, por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} \quad (6)$$

De aquí se define también que:

$$S = P + jQ \quad (7)$$

Donde:

jQ = Potencia reactiva inductiva (VAR).

El resultado de esta operación será 1 o un número fraccionario menor que 1 en dependencia del factor de potencia que le corresponde a cada equipo o dispositivo en específico. Ese número responde al valor de la función trigonométrica “coseno”, equivalente a los grados del ángulo que se forma entre las potencias (P) y (S).

Si el número que se obtiene como resultado de la operación matemática es un decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,95), dicho número representará el factor de potencia correspondiente al desfase en grados existente entre la intensidad de la corriente eléctrica y la tensión en el circuito de corriente alterna.

Lo ideal sería que el resultado fuera siempre igual a 1, pues así habría una mejor optimización y aprovechamiento del consumo de energía eléctrica, o

sea, habría menos pérdida de energía no aprovechada y una mayor eficiencia de trabajo en los generadores que producen esa energía.

En los circuitos de resistencia activa, el factor de potencia siempre es 1, porque como ya vimos anteriormente en ese caso no existe desfase entre la intensidad de la corriente y la tensión.

Pero en los circuitos inductivos, como ocurre con los motores, transformadores de tensión y la mayoría de los dispositivos o aparatos que trabajan con algún tipo de enrollado o bobina, el valor del factor de potencia se muestra con una fracción decimal menor que 1 (como por ejemplo 0,8), lo que indica el retraso o desfase que produce la carga inductiva en la senoide correspondiente a la intensidad de la corriente con respecto a la senoide de la tensión.

2.3. MÉTODOS DE COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA

En la operación de los sistemas eléctricos de potencia de alta tensión se presentan, de vez en cuando, situaciones tales como una demanda anormal de reactivos, esto es, que dicha demanda sobrepasa la aportación que de ellos hacen algunos elementos de la red, obligando a los generadores a bajar su factor de potencia para suministrar los reactivos complementarios. El objetivo de la compensación reactiva es que la potencia aparente sea lo más parecida posible a la potencia activa.

El costo de generar, transmitir y transformar los reactivos, en el camino a su consumo, invita a realizar algunas consideraciones con respecto a los elementos que consumen estos reactivos, imponiendo la necesidad de localizar, operar y proyectar los equipos compensadores, de tal forma que estos

no alteren el funcionamiento normal del sistema al cual se conecta. Los mecanismos de compensación más empleados son:

2.3.1. COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE MÁQUINAS SINCRÓNICAS.

Las máquinas sincrónicas pueden funcionar como aportadores de potencia reactiva funcionando en vacío, siendo en este caso conocidos como capacitores sincrónicos. La generación de potencia reactiva depende de la excitación, necesitando ser sobreexcitados para poder satisfacer sus propias necesidades de energía reactiva y entregar a su vez energía reactiva al sistema, es decir un motor síncrono diseñado para trabajar en vacío y con un amplio rango de regulación, estas máquinas síncronas son susceptibles de trabajar con potencia reactiva inductiva o capacitiva según el grado de excitación del campo. Si están sobre excitadas se comportan como condensadores. Por el contrario si están sub-excitadas se comportan como inductancias.

La potencia de un condensador sincrónico en condiciones de sobre-excitación está limitada por la temperatura, en condiciones de sub-excitación, la potencia queda limitada por la estabilidad de la máquina. Este tipo de compensación no es muy utilizada, se utiliza sólo en el caso de que existan en la instalación motores sincrónicos de gran potencia (mayores a 200 HP) que funcionan por largos períodos de tiempo.

2.3.2. COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE CEV'S.

Un compensador estático de VAr (CEV'S), se emplea para compensar potencia reactiva usando un control de la magnitud de tensión en un bus

particular de un sistema eléctrico de potencia. Estos dispositivos comprenden el banco de capacitores fijo o conmutado (controlado) o un banco fijo y un banco de reactores conmutados en paralelo, se emplean principalmente en alta tensión debido a la conmutación para controlar la compensación.

2.3.3. COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA MEDIANTE BANCOS DE CAPACITORES

Este método es el que se utiliza en la actualidad en la mayoría de las instalaciones industriales dado que es más económico y permite una mayor flexibilidad. Se pueden fabricar en configuraciones distintas. Sin embargo son muy sensibles a las armónicas presentes en la red, los bancos de capacitores elevan el factor de potencia, con lo cual aumenta la potencia transmitida por la línea porque no necesita conducir la potencia reactiva.

2.4. CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA

En las instalaciones eléctricas, las máquinas eléctricas y algunos otros elementos como los balastos de alumbrado fluorescente demandan además de la corriente de trabajo (en fase con el voltaje), una componente reactiva desfasada 90° (retrasada con respecto al voltaje), y que sirva para crear el campo magnético. Tal corriente magnetizante que debe proporcionar la fuente de suministro, hace disminuir la potencia útil de la instalación; además con la pérdida por el efecto Joule, se disminuye la eficiencia y aumenta la caída de tensión.

La finalidad de corregir el factor de potencia es reducir o aún eliminar el costo de energía reactiva en la factura de electricidad.

2.4.1. FACTOR DE POTENCIA

Es la relación de la potencia activa P , con la potencia aparente S , es decir la proporción de potencia que se transforma en trabajo útil (P) de la potencia total (S) requerida por la carga. Bajo condiciones de tensiones y corrientes senoidales el factor de potencia es igual al $\text{Cos } (\varphi)$, tal y como se mostró en el análisis del Triángulo de Potencia, de la cual se obtuvo la ecuación 6.

En un circuito trifásico equilibrado la potencia activa (P), reactiva (Q) y aparente (S) se expresan como:

$$P = \sqrt{3} \text{ VI Cos } \varphi \quad (8)$$

$$Q = \sqrt{3} \text{ VI Sen } \varphi \quad (9)$$

$$S = \sqrt{3} \text{ VI} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (10)$$

A continuación en la figura 13 se presenta el diagrama vectorial de potencias, para una carga inductiva:

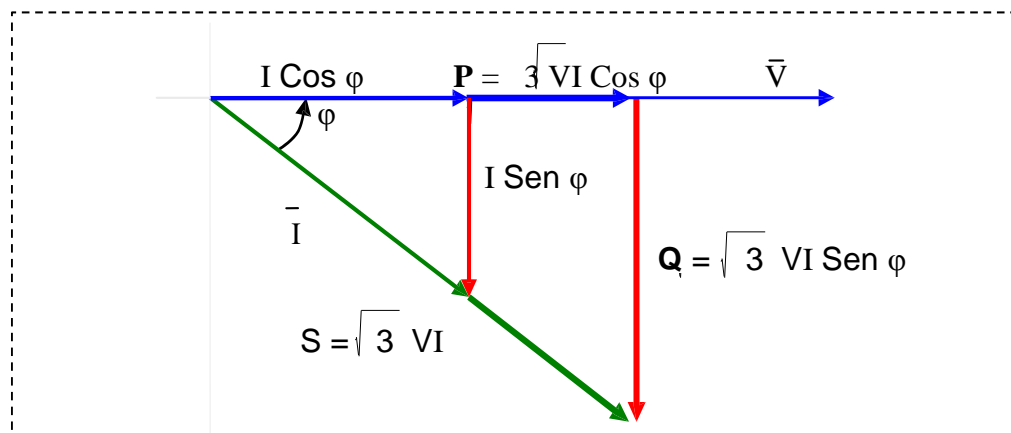


Figura 13. Triángulo de potencia en un circuito trifásico

Fuente: <http://benedicto.ar.tripod.com/a%20Factor%20de%20potencia.htm>

Donde:

V = Tensión fase-neutro (V).

I = Corriente de fase (A).

En este diagrama vectorial se puede apreciar que, para una potencia activa (P) dada, la corriente (I) y la potencia aparente (S) son mínimas cuando el ángulo de desfase es igual a 0° ($\varphi = 0^\circ$) ó lo que es equivalente cuando el $\cos \varphi = 1$.

A continuación se presenta en la tabla 1 los valores aproximados del factor de potencia para las cargas más comunes:

Tabla 1. Valores aproximados del factor de potencia para las cargas más comunes.

Aparato	Carga	$\cos \phi$
Motor asíncrono	0%	0,17
	25%	0,55
	50%	0,73
	75%	0,8
	100%	0,85
Lámparas incandescentes		1
Lámparas fluorescentes		0,5
Lámparas de descarga		0,4 a 0,6
Hornos de resistencia		1
Hornos de inducción		0,85
Máquinas de soldar por resistencia		0,8 a 0,9
Soldadora de arco monofásica		0,5
Soldadora de arco con transformador - rectificador		0,7 a 0,9
Hornos de arco		0,8

En muchas instalaciones eléctricas de la industria, hay grandes consumos de corriente. Este consumo se agrava más cuando se trabaja con muchos motores (carga inductiva), que causan que exista un gran consumo de corriente reactiva que normalmente es penalizada por las empresas que distribuyen energía.

Cuando esta situación se presenta, se dice que se tiene un bajo factor de potencia. El siguiente, es un método para lograr mejorar el factor de potencia, reducir el consumo de corriente y evitar cualquier penalización.

2.4.1.1. PLANTEAMIENTO ANALÍTICO PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA.

La aplicación de los bancos de capacitores en las instalaciones industriales y en las redes de distribución, es la corrección del factor de potencia, esto se hace por dos razones fundamentalmente:

Para estar dentro de los límites mínimos fijados por las compañías suministradoras y evitar penalización por bajo factor de potencia.

De la figura 12. Cuando el $\text{Cos } \phi$ es mayor que el especificado por la compañía suministradora (0.92), entonces se penaliza, es decir, se impone una sanción económica o cargo por bajo factor de potencia en el recibo de consumo de energía.

Para mejorar las condiciones operativas (voltajes y pérdidas) y tener una mejor economía de operación.

Considerando la figura 14, si el valor mínimo especificado es $\cos \phi_2$, entonces es necesario pasar de $\cos \phi_1$ a $\cos \phi_2$, mantenido el suministro de la carga constante, por lo tanto para pasar del valor actual de consumos de potencia reactiva Q_1 , al valor deseado, para obtener el ángulo ϕ_2 , es decir a Q_2 , se requiere restar a Q_1 una cantidad Q_C , que corresponde a la potencia reactiva del banco de capacitores.

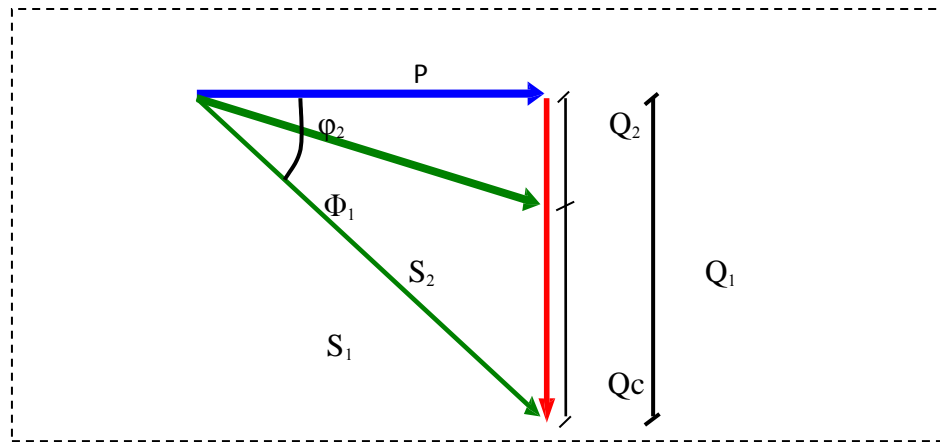


Figura 14. Corrección del $\cos \phi_1$ a $\cos \phi_2$, mantenido el suministro de la carga constante.

Fuente: <http://gomyshop.info/hc/factor-de-potencia>

Para realizar el cálculo de Q_C se utiliza la ecuación 11, sin embargo se puede utilizar la ecuación 12 la cual se obtiene a través de la figura 14, donde en el primer caso el factor K se obtiene por medio de la tabla 2, donde se muestra el factor inicial el cual es el factor en el que nuestro sistema está en operación y el factor de potencia deseado, para encontrar el valor del factor K se toma el valor en el cual estos dos factores se intersectan, dichas ecuaciones se muestran a continuación:

$$Q_C = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (11)$$

$$Q_C = P \times \text{Factor } K \quad (12)$$

Tabla 2. Factor para el cálculo de la potencia del banco de capacitores.

Factor de potencia inicial	Factor K														
	Factor de potencia deseado														
	0.86	0.87	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
0.66	0.545	0.572	0.599	0.626	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.81	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138
0.67	0.515	0.541	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	0.485	0.512	0.539	0.566	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.75	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078
0.69	0.456	0.483	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.72	0.757	0.798	0.846	0.907	1.049
0.7	0.427	0.453	0.48	0.508	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.77	0.817	0.878	1.02
0.71	0.398	0.425	0.452	0.48	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.7	0.741	0.789	0.849	0.992
0.72	0.37	0.397	0.424	0.452	0.48	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964
0.73	0.343	0.37	0.396	0.424	0.452	0.481	0.51	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936
0.74	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.58	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909
0.75	0.289	0.315	0.342	0.37	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.59	0.631	0.679	0.739	0.882
0.76	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.4	0.429	0.46	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855
0.77	0.235	0.262	0.289	0.316	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.5	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829
0.78	0.209	0.236	0.263	0.29	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.66	0.802
0.79	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.32	0.35	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776
0.8	0.157	0.183	0.21	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.75
0.81	0.131	0.157	0.184	0.212	0.24	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724
0.82	0.105	0.131	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	0.079	0.105	0.132	0.16	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.38	0.421	0.469	0.53	0.672
0.84	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.19	0.22	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646
0.85	0.026	0.053	0.08	0.107	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.62
0.86	---	0.027	0.054	0.081	0.109	0.138	0.167	0.198	0.23	0.265	0.302	0.343	0.39	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	0.54
0.89	---	---	---	---	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.37	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	---	---	---	---	---	---	0.03	0.06	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	0.16	0.22	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
0.98	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.061	0.203
0.99	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.142

En la figura 15, se puede observar el cambio que existe en las potencias activa y reactiva cuando el factor de potencia varia de 0.6 hasta la unidad, manteniendo la potencia aparente de la carga constante.

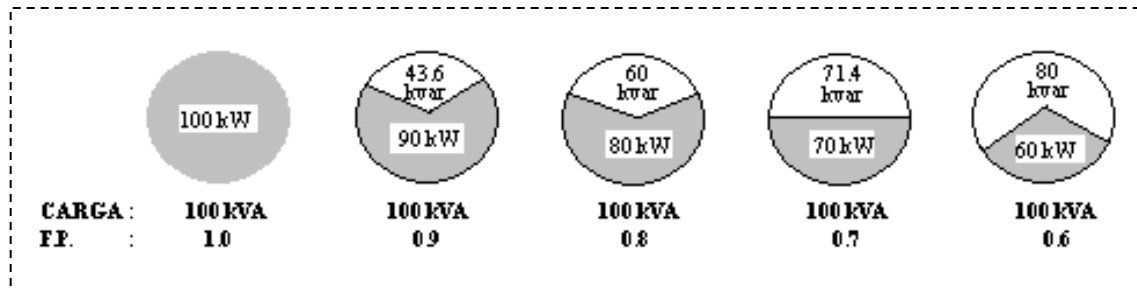


Figura 15. Cambio de potencia activa y reactiva con factor de potencia, mantenido la potencia aparente de la carga constante

Fuente: <http://gomyshop.info/hc/factor-de-potencia>

2.5. DEFINICIÓN DE UN CAPACITOR

Los capacitores son equipos capaces de acumular electricidad; están constituidos básicamente por dos placas conductoras colocadas frontalmente en paralelo y separadas por un medio cualquiera aislante, que puede ser aire, papel, plástico, etc. En las caras externas de estas placas se conecta una fuente de tensión que genera un campo electrostático en el espacio comprendido entre las dos placas, como se muestra en la figura 16.

El generador G podría ser una batería o un generador cualquiera de corriente continua o de corriente alterna, las placas paralelas se denominan electrodos, las líneas de flujo entre las placas paralelas son imaginarias, el material aislante colocado entre las placas paralelas se denomina dieléctrico, la energía electrostática queda acumulada entre las placas y en menor intensidad en su vecindad.

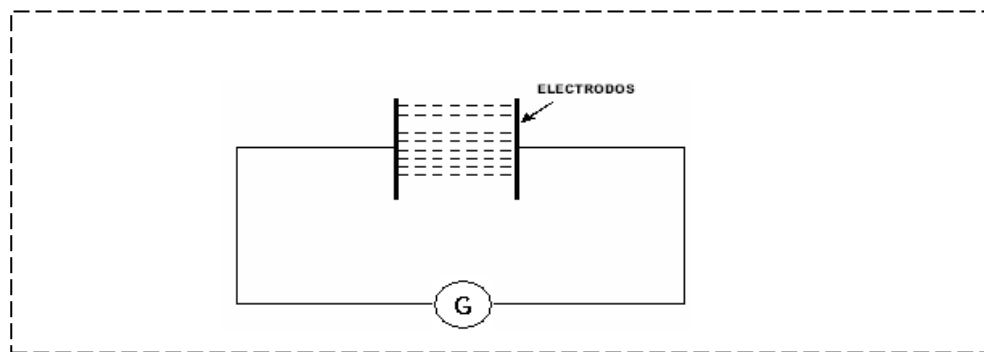


Figura 16. Campo electrostático entre las dos placas del capacitor.

Fuente: <http://profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=3>

El coulomb es una cantidad de carga eléctrica que puede ser almacenada o descargada en forma de corriente eléctrica durante un cierto periodo de tiempo tomado como unidad. Para mejor comprensión se puede considerar el caso de una batería de automóvil de 54Ah que puede descargar toda la energía a razón de 1A en un tiempo de 54 horas, o bien 54A en un tiempo de 1h. Un coulomb es por lo tanto el flujo de carga o descarga de una corriente de 1A en un tiempo de 1 seg., esto quiere decir que durante un tiempo de 1seg, 6.25×10^{18} electrones son transportados de una placa a otra cuando la carga o descarga del capacitor es de 1.6×10^{-19} (C). Es bueno saber que la carga eléctrica de un electrón es de 1.6×10^{-19} C.

Si una determinada tensión V (volts) se aplica entre las placas paralelas separadas por una distancia de d (m), la intensidad del campo eléctrico se puede calcular por medio de la ecuación 13.

$$E = \frac{V}{d} \quad (13)$$

Donde:

E = Intensidad del campo eléctrico (V/m).

V = Tensión (V). d = Distancia (m).

La unidad que mide la capacidad de carga C de un capacitor es el Farad, de modo que 1 Farad es la capacidad de carga eléctrica de un capacitor cuando una carga eléctrica de 1coulomb (6.25×10^{18} electrones) está almacenada en el medio eléctrico bajo una tensión aplicada de 1V entre las terminales de placas paralelas. Los capacitores son evaluados por la cantidad de carga eléctrica que es capaz de almacenar en su campo y está dada por la ecuación 14.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (14)$$

Donde:

C = Capacidad del capacitor (F).

V = Tensión aplicada (V).

2.6. Energía Almacenada

Cuando los electrodos de un capacitor son sometidos a una tensión entre sus terminales, circula en su interior una corriente de carga, lo que hace que una determinada cantidad de energía se acumule en su campo eléctrico. La energía media almacenada en el capacitor se puede obtener con la ecuación:

$$E = \frac{1}{2} \times C \times V_m^2 \quad (15)$$

Donde:

E = Energía almacenada (J).

C = Capacidad del capacitor (F).

V_m = Tensión aplicada en valor pico (V).

CAPITULO 3

ASPECTOS A CONSIDERAR PARA INSTALAR BANCOS DE CAPACITORES

Considerando los aspectos teóricos señalados en el capítulo anterior, este capítulo abordara toda la información referente a los bancos de capacitores tanto sus partes principales, esquemas de conexión selección de la conexión del banco y algunos factores que afectan a dichos bancos los cuales son el efecto de resonancia y las componentes armónicas.

3.1 PARTES PRINCIPALES DE UN CAPACITOR DE POTENCIA

Las partes principales de un capacitor de potencia, son las que se mencionan a continuación:

Caja o carcaza: Esta caja o carcaza tiene la función de contener la parte activa del capacitor, está construida de placa de acero con un espesor adecuado al volumen del capacitor, la caja contiene las siguientes partes:

- a) Placa de características. En esta placa deben estar contenidos todos los datos característicos para la identificación del capacitor, como son: su potencia nominal en kVAr, la tensión nominal de operación, su capacitancia, la frecuencia a que opera, su peso o masa, el nivel básico de aislamiento, la fecha de fabricación, etc.
- b) Los aisladores. Corresponden a las terminales externas de las unidades capacitivas.

- c) Ganchos en ojalos para levantamiento. Son usados para levantar la unidad capacitiva
- d) Soportes para fijación. Se utilizan para fijar la unidad capacitiva en su estructura de montaje.

Armadura: Está constituida por hojas de aluminio enrolladas con el dieléctrico, como se muestra en la figura 17, con espesores comprendidos entre 3 y 6 μm y patrón de pureza de alta calidad, con el objetivo de mantener en bajos niveles las pérdidas dieléctricas y las capacitancias nominales del proyecto.

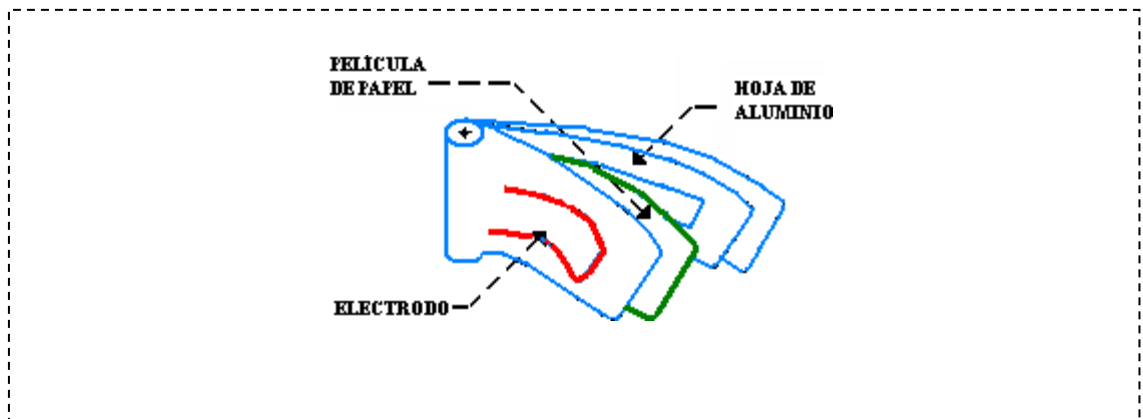


Figura 17. Ilustración de una armadura de capacitor.

Fuente: http://energytel.info/portal_telecom/articulos

Dieléctrico: Actualmente existen dos tipos básicos de capacitores en cuanto a su medio dieléctrico:

- a) Capacitores del tipo autoregenerable. Son aquellos cuyo dieléctrico está formado por una fina capa de película de polipropileno esencial,

asociada muchas veces, una capa de papel dieléctrico (papel Kraft) con alrededor de $18\ \mu\text{m}$ de espesor. Es necesario que los componentes dieléctricos estén constituidos de material seleccionado y de alta calidad, para no influenciar negativamente las pérdidas dieléctricas.

b) Capacitores de tipo impregnado. Están constituidos por una sustancia impregnante que se trata a continuación:

Líquido de impregnación. Los fabricantes de capacitores usan normalmente una sustancia biodegradable con una estructura molecular constituida por carbono e hidrógeno (hidrocarbonato aromático sintético) que no es agresivo con el medio ambiente.

Resistor de descarga. Cuando se retira la tensión de las terminales de un capacitor, la carga eléctrica almacenada necesita ser dañada para que la tensión resultante sea eliminada, evitándose de esta manera situaciones peligrosas de contacto con las referidas terminales.

Para que esto sea posible, se inserta entre las terminales un resistor, con la finalidad de transformar en pérdidas Joule la energía almacenada en el dieléctrico, reduciendo a 75V el nivel de tensión en un tiempo menor a 10 minutos para capacitores en media tensión; y menor que 3 minutos para capacitores de baja tensión. Este dispositivo de descarga se puede instalar en forma interna o externa al capacitor, siendo más común la primera solución, como se muestra en la figura 18 a) y 18 b).

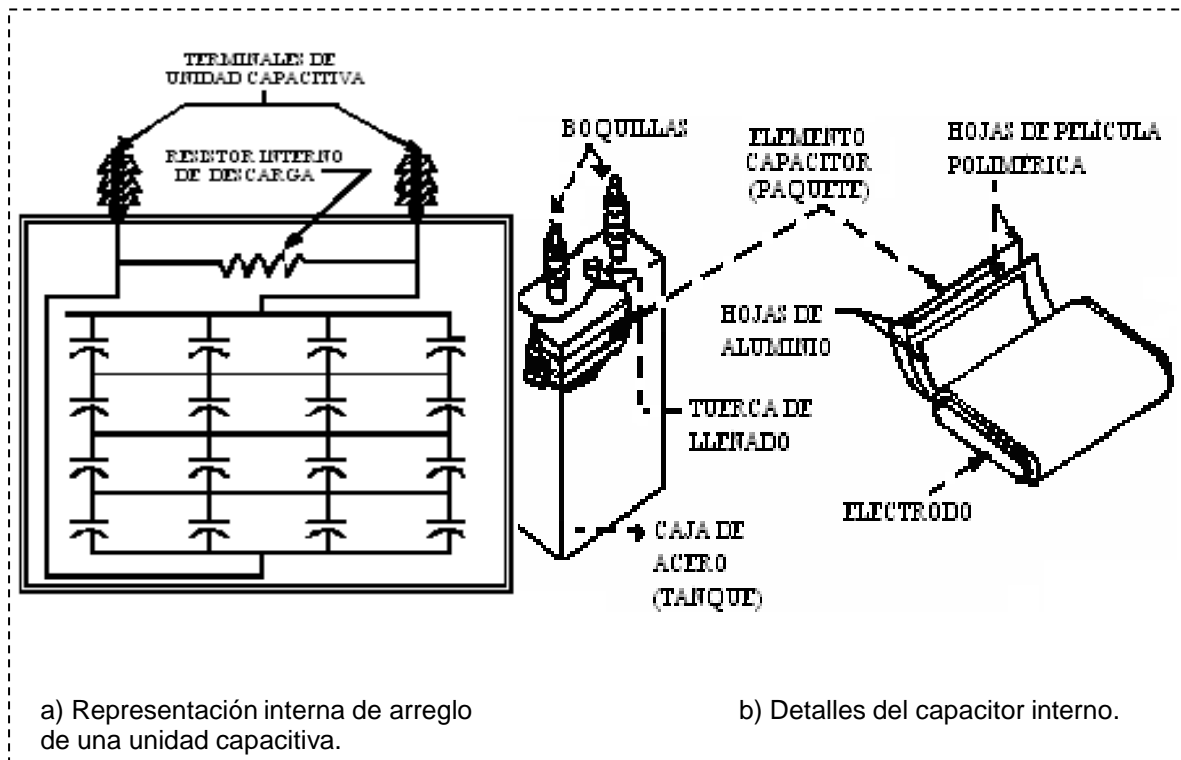


Figura 18. Arreglo de una unidad capacitiva y detalles del capacitor interno.

Fuente: http://energytel.info/portal_telecom/articulos

3.2 CONEXIÓN DE LOS BANCOS DE CAPACITORES

Los capacitores instalados, se pueden conectar en cualquiera de las conexiones trifásicas clásicas que son: Estrella sólidamente aterrizada, estrella con neutro flotante y delta.

3.2.1. CONEXIÓN ESTRELLA A TIERRA CON NEUTRO SÓLIDAMENTE CONECTADO A TIERRA.

En esta conexión, el voltaje de las unidades capacitivas debe ser igual o mayor que el voltaje de fase a neutro del sistema al cual se van a conectar. Normalmente esta conexión se usa en sistemas de distribución, en rangos de tensiones hasta 34.5 kV. La capacidad del banco en kVAr se

selecciona de manera que proporcione la potencia reactiva deseada en el sistema.

Cada fase en este tipo de conexión está formada por grupos de unidades capacitivas conectadas en serie paralelo para dar el valor de potencia deseado tal como se muestra en la figura 19 a), en este tipo de arreglos generalmente se adopta una protección por fusibles para cada unidad capacitiva, sin embargo existe también la posibilidad de proteger a las unidades capacitivas por grupo, esta opción se usa generalmente en sistemas de distribución con compensación de baja capacidad, esto se muestra en la figura 19 b).

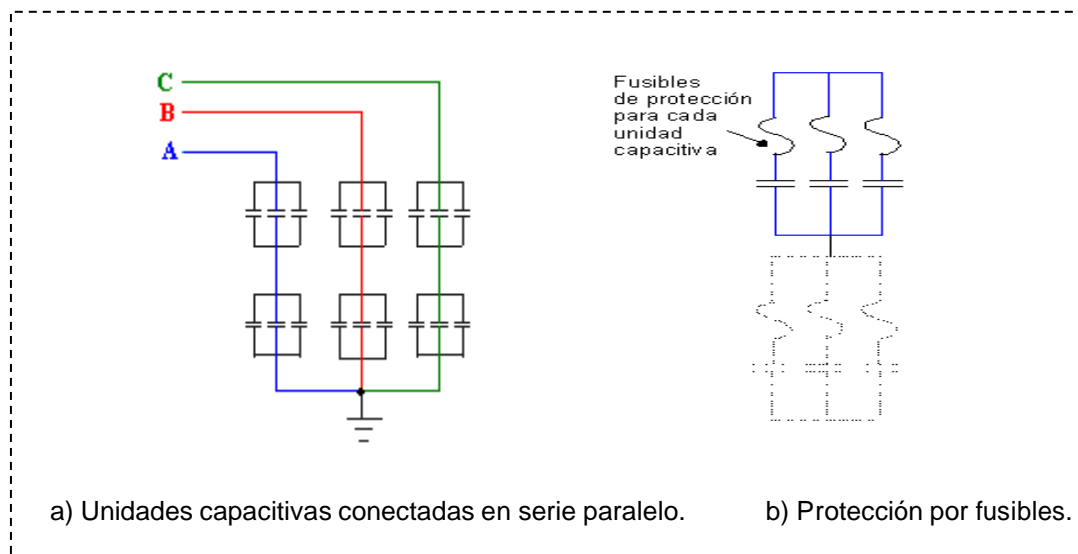


Figura 19. Conexión estrella a tierra con neutro sólidamente conectado a tierra.

Fuente: http://energytel.info/portal_telecom/articulos

La conexión estrella con neutro sólidamente aterrizado, tiene la ventaja de permitir un balanceo de fases más fácil que en otras conexiones, sin embargo en estos arreglos, se presenta el problema de que la falla en una unidad capacitiva presenta una sobretensión en el resto de las unidades del arreglo, sometiéndolas a mayores esfuerzos dieléctricos.

3.2.2. CONEXIÓN ESTRELLA CON NEUTRO FLOTANTE.

Este tipo de conexión se usa en sistemas de media tensión o mayores, presenta la ventaja de evitar en forma importante la presencia de transitorios de sobretensión y permite también una mejor protección contra sobrecorriente; en cambio, tiene el problema de desbalance de voltaje, que hace que aparezcan tensiones al neutro, por lo que es necesario incorporar una protección contra sobretensiones al neutro. En la figura 20, se muestra la protección para este tipo de arreglo.

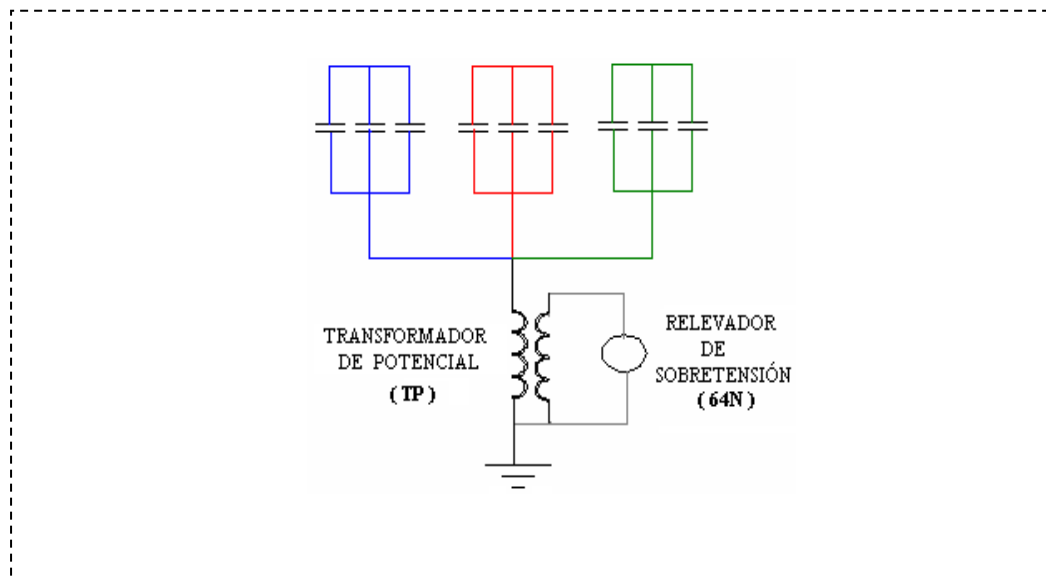


Figura 20. Conexión estrella con neutro flotante con protección en el neutro.

Fuente: http://energytel.info/portal_telecom/articulos

3.2.3. CONEXIÓN DELTA.

En esta conexión se usa generalmente en baja tensión (600 Volts o menos) en motores eléctricos o cargas de valor similar, tiene la ventaja sobre las conexiones en estrella de que no presenta problemas de desbalance y también aísla las corrientes armónicas.

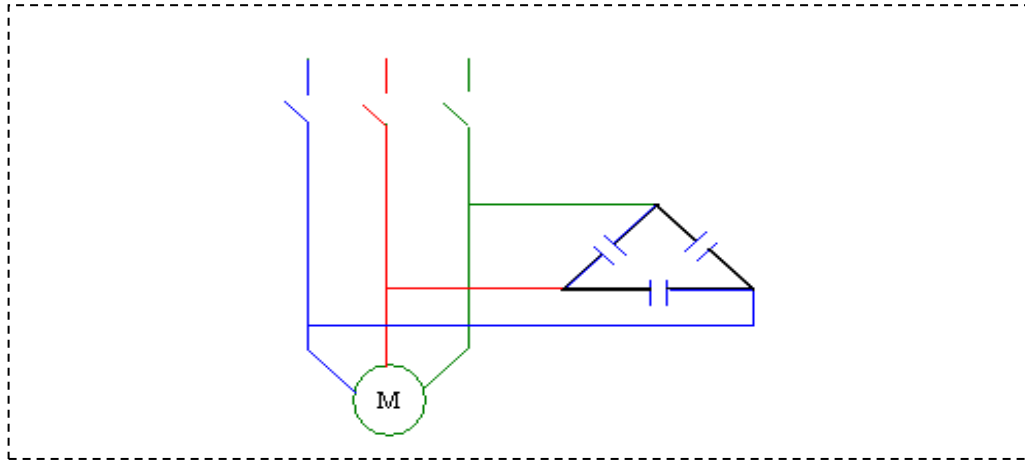


Figura 21. Conexión delta para motores en baja tensión

Fuente: http://energytel.info/porta_telecom/articulos

3.3 SELECCIÓN DEL BANCO DE CAPACITORES

Para realizar la selección de un banco de capacitores se deben elegir los capacitores en los rangos existentes normalizados. En las tablas 3 y 4 se presentan una lista de los valores de los bancos de capacitores más comunes existentes en el mercado de acuerdo a su tensión, cabe resaltar que en relación a las tensiones y tamaños de los capacitores, las diferentes fábricas producen equipos para tensiones normalizados más utilizados por las empresas de electricidad, aunque también los fabrican para tensiones y tamaños especiales bajo especificación del cliente.

Sin embargo, los tamaños existentes en el mercado son muy numerosos y generalmente se fabrican tanto condensadores monofásicos como trifásico en incrementos de 5 kVAr hasta 50 kVAr, de 10 kVAr hasta 100 kVAr y en saldos de 50 kVAr hasta 300 kVAr. Tamaños mayores requieren pedidos especiales, en todo caso es importante destacar que la frecuencia de operación de los condensadores debe ser 60 Hz.

Tabla 3. Valores para bancos de capacitores monofásicos de baja tensión.

Tensión de línea (V)	Potencia (kVAr)		Capacitancia nominal (μF)	Corriente nominal (A)		Fusible NH ó Dz (A)	Conductor de conexión mm^2
	50 Hz	60Hz		50 Hz	60Hz		
220	2.1	2.5	137.0	9.5	11.4	20.0	2.5
	2.5	3.0	165.0	11.4	13.6	25.0	2.5
	4.2	5.0	274.0	19.1	22.7	32.0	6.0
	5.0	6.0	329.0	22.7	27.3	50.0	10.0
	6.3	7.5	411.0	28.6	34.1	63.0	10.0
	8.3	10.0	548.0	37.7	45.5	80.0	16.0
	10.0	12.0	657.0	45.5	54.5	100.0	25.0
	12.5	15.0	822.0	56.8	68.2	125.0	35.0
380	2.1	2.5	46.0	5.5	6.6	10.0	2.5
	2.5	3.0	55.0	6.6	7.9	16.0	2.5
	4.2	5.0	92.0	11.1	13.2	25.0	2.5
	5.0	6.0	110.0	13.2	15.8	32.0	4.0
	6.3	10.0	184.0	21.8	26.3	50.0	10.0
	8.3	12.0	220.0	26.3	31.6	50.0	10.0
	10.0	15.0	276.0	32.9	39.5	63.0	16.0
	12.5	18.0	330.0	39.5	47.4	80.0	25.0
	16.6	20.0	367.0	43.7	52.6	100.0	25.0
	20.0	24.0	440.0	52.6	63.2	100.0	35.0
	20.8	25.0	460.0	54.7	65.8	125.0	35.0
25.0	30.0	551.0	65.8	78.9	160.0	50.0	
440	4.2	5.0	68.0	9.5	11.4	20.0	2.5
	5.0	6.0	82.0	11.4	13.6	25.0	2.5
	8.3	10.0	137.0	18.9	22.7	32.0	6.0
	10.0	12.0	164.0	22.7	27.3	50.0	10.0
	12.5	15.0	206.0	28.4	34.1	63.0	10.0
	16.6	20.0	274.0	37.7	45.5	80.0	16.0
	20.8	25.0	343.0	47.3	56.8	100.0	25.0
25.0	30.0	411.0	56.8	68.2	125.0	35.0	
480	4.2	5.0	58.0	8.7	10.4	20.0	2.5
	5.0	6.0	69.0	10.4	12.5	20.0	2.5
	8.3	10.0	115.0	17.3	20.8	32.0	6.0
	10.0	12.0	138.0	20.8	25.0	50.0	6.0
	12.5	15.0	173.0	26.0	31.3	50.0	10.0
	16.6	20.0	230.0	34.6	41.7	80.0	16.0
	20.8	25.0	288.0	43.3	52.1	100.0	25.0
25.0	30.0	345.0	52.1	62.5	100.0	36.0	

Tabla 4. Valores para bancos de capacitores trifásicos en baja tensión.

Tensión de línea (V)	Potencia (kVAr)		Capacitancia nominal(µF)	Corriente nominal (A)		Fusible NH ó Dz (A)	Conductor de conexión mm ²
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz		
220	2.1	2.5	137.0	5.5	6.6	10.0	2.5
	4.2	5.0	274.03	10.9	13.1	25.0	2.5
	6.3	7.5	411.04	16.4	19.7	32.0	6.0
	8.3	10.0	548.05	21.8	26.2	50.0	10.0
	10.4	12.5	685.07	27.3	32.8	63.0	16.0
	12.5	15.0	822.08	32.8	39.4	63.0	16.0
	14.6	17.5	959.09	38.2	45.9	80.0	25.0
	16.6	20.0	1096.12	43.7	52.5	100.0	25.0
	18.7	22.5	1233.12	49.1	59.0	100.0	35.0
20.8	25.0	1370.14	54.6	65.6	125.0	35.0	
380	2.1	2.5	45.92	3.2	3.8	10.0	2.5
	4.2	5.0	91.85	6.3	7.6	16.0	2.5
	6.3	7.5	137.77	9.5	11.4	20.0	2.5
	8.3	10.0	183.7	12.7	15.2	25.0	4.0
	10.4	12.5	229.62	15.8	19.0	32.0	6.0
	12.5	15.0	275.55	19.6	22.8	32.0	6.0
	14.6	17.5	321.47	22.2	26.6	50.0	10.0
	16.6	20.0	367.39	25.3	30.4	50.0	10.0
	18.7	22.5	413.32	28.5	34.2	63.0	16.0
	20.8	25.0	458.24	31.7	38.0	63.0	16.0
	25.0	30.0	551.09	38.0	45.6	80.0	25.0
	29.2	35.0	642.94	44.3	53.2	100.0	25.0
	33.3	40.0	734.79	50.6	60.8	100.0	35.0
37.5	45.0	826.64	57.0	68.4	125.0	50.0	
41.6	50.0	918.48	63.3	76.0	125.0	50.0	
440	2.1	2.5	34.25	2.7	3.3	6.0	2.5
	4.2	5.0	68.51	5.5	6.6	10.0	2.5
	6.3	7.5	102.76	8.2	9.8	16.0	2.5
	8.3	10.0	137.01	10.9	13.1	25.0	2.5
	10.4	12.5	171.01	11.7	16.4	32.0	4.0
	12.5	15.0	205.52	16.4	19.7	32.0	6.0
	14.6	17.5	239.77	19.2	23.0	50.0	6.0
	16.6	20.0	274.003	21.8	26.2	50.0	10.0
	18.7	22.5	308.28	24.6	29.5	50.0	10.0
	20.8	25.0	342.53	27.3	32.8	63.0	16.0
	25.0	30.0	411.04	32.8	39.4	63.0	16.0
	29.2	35.0	479.54	38.2	45.9	80.0	25.0
	33.3	40.0	548.05	41.7	52.5	100.0	25.0
37.5	45.0	616.56	49.1	59.0	100.0	35.0	
41.6	50.0	685.07	54.6	65.6	125.0	35.0	
480	4.2	5.0	57.56	5.1	6.0	10.0	2.5
	8.3	10.0	115.13	10.0	12.0	20.0	2.5
	12.5	15.0	172.69	15.0	18.0	32.0	4.0
	16.6	20.0	230.26	20.1	24.1	50.0	6.0
	20.8	25.0	287.82	25.1	30.1	50.0	10.0
	25.0	30.0	346.39	30.1	36.1	63.0	16.0
	29.2	35.0	402.95	35.1	42.1	80.0	16.0
	33.3	40.0	460.52	40.1	48.1	80.0	25.0
	37.5	45.0	518.08	45.1	54.1	100.0	25.0
41.6	50.0	575.65	50.1	60.1	100.0	35.0	

En la tabla 5, se presentan las capacidades en potencia reactiva para capacitores monofásicos en tensiones medias, de acuerdo a su tensión de operación.

Tabla 5. Capacidades en kVAr para capacitores monofásicos en media tensión.

Capacidades en kVAr para capacitores monofásicos en media tensión	
Tensión	kVAr
2400	50
2770	100
4160	150
4800	200
6640	250
7200	300
7620	350
8320	400
9540	450
9960	500
11400	
12470	
13280	
13800	
14400	
15125	
19920	
20800	
21600	
22130	
22800	
23800	
24940	

De acuerdo con el tipo de conexión y con los valores conocidos para las unidades capacitivas, los fabricantes de capacitores recomiendan la formación de grupos de serie, de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 6. Mínimo número de unidades recomendadas en paralelo por grupo serie para limitar la tensión a un máximo del 10% sobre la nominal, cuando falla una unidad.

Número de grupos en serie	Conexión estrella con neutro Flotante		Conexión delta o estrella aterrizada	
	Mínimo número de unidades por grupo	Mínimo número de unidades por banco trifásico	Mínimo número de unidades por grupo	Mínimo número de unidades por banco trifásico
1	4	12	1	3
2	8	48	6	36
3	9	81	8	72
4	9	108	9	108
5	10	150	9	135
6	10	180	9	162
7	10	210	10	210
8	10	240	10	240
9	11	297	11	297
10	11	330	11	330
11	11	303	11	363
12	11	396	11	396
13	11	429	11	429
14	11	462	11	462
15	11	495	11	495

3.4 EFECTO DE RESONANCIA

Las condiciones de resonancia causan sobrecorrientes y sobretensiones. Hay dos posibilidades de condiciones de resonancia como se explica a continuación.

3.4.1. RESONANCIA SERIE

La combinación de reactancias inductiva y capacitiva en serie forma un circuito resonante serie. El comportamiento de la impedancia de este circuito se ilustra en la figura 22. Se observa que a una frecuencia llamada frecuencia de resonancia, la impedancia se reduce a un valor mínimo el cual es muy bajo y de naturaleza resistiva. El circuito ofrece una impedancia muy baja a esta frecuencia lo cual causa un aumento en muchas veces de la corriente.

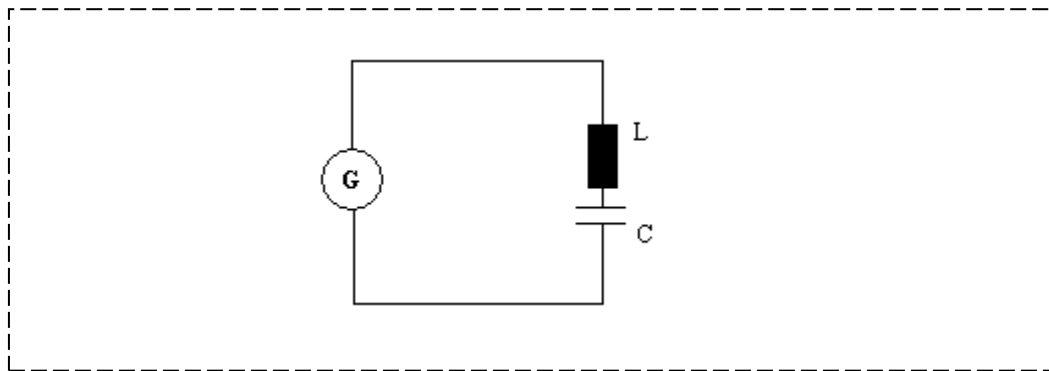


Figura 22. Circuito resonante serie.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_LC

La resonancia serie ocurre en muchos casos, cuando las armónicas están presentes en lado primario del transformador. El transformador junto con los capacitores en el lado secundario de baja tensión actúan como un circuito resonante serie para el lado de alta tensión. Si la frecuencia de resonancia de la combinación L y C coincide con una frecuencia armónica existente puede sobrecargarse el equipo. Este circuito resonante serie provee un paso de baja impedancia a las armónicas en este caso. La cantidad de absorción dependerá de la posición relativa de la frecuencia de resonancia con respecto a la frecuencia de la armónica. Esta corriente armónica impone una carga adicional al transformador y especialmente a los capacitores. La tensión del lado de baja tensión del sistema se distorsiona como resultado de la resonancia.

3.4.2. RESONANCIA PARALELO

Una combinación en paralelo de reactancia inductiva y una capacitiva forma un circuito resonante paralelo. El comportamiento de la impedancia de este circuito se muestra en la figura 23. A la frecuencia de resonancia la reactancia inductiva iguala a la capacitiva.

La impedancia resultante del circuito aumenta a valores muy altos a la frecuencia de resonancia. La excitación de un circuito resonante paralelo causa una tensión muy alta sobre las impedancias y corrientes.

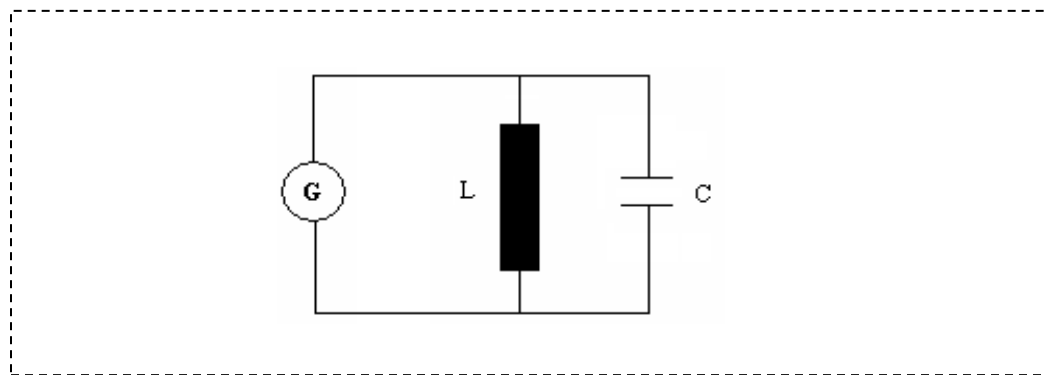


Figura 23. Circuito resonante paralelo

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_LC

Muchos de los sistemas de energía están equipados con capacitores para corrección del factor de potencia. La capacitancia forma un circuito resonante paralelo con las impedancias de la carga y del transformador. En consecuencia el generador de armónicas encuentra una aumentada reactancia de red. Consecuentemente la corriente armónica causa una tensión armónica aumentada comparada con la red no compensada (X_L) la cual puede ser acompañada por distorsión de la fundamental.

Entre la red y el capacitor fluyen corrientes iguales que pueden llegar a sumar un múltiplo de la corriente armónica. Los transformadores y capacitores

son cargados adicionalmente lo cual puede causar la sobrecarga de los mismos.

El punto de resonancia paralelo depende de la inductancia de la red y de la potencia capacitiva. Por lo tanto es posible ubicar el punto de resonancia de manera de asegurar la menor perturbación. En realidad la impedancia de la red no permanece constante todo el tiempo porque está determinada por la potencia de cortocircuito de la red y de las cargas conectadas a ellas. La potencia de cortocircuito de la red varía con el estado de conexión y el punto de resonancia paralelo se mueve con la configuración de la red. Por lo tanto el fenómeno puede ser más complicado cuando el equipo de corrección del factor de potencia varía por pasos.

En general, es evidente que la ocurrencia de resonancia serie o paralelo puede causar sobretensiones y sobrecorrientes de niveles peligrosamente altos. Las armónicas que crean una posibilidad de resonancia no sólo sobrecargan los componentes del sistema sino también deterioran la calidad de energía en términos de distorsión y caídas de tensión.

El problema en los capacitores es debido a la resonancia que presentan con el sistema, esta frecuencia de resonancia muchas veces se encuentra cercana a la 5^a o 7^a armónica, las cuales son armónicas muy comunes en los sistemas eléctricos.

De esta manera la frecuencia de resonancia a la cual está expuesto un banco de capacitores está dada por la ecuación 16, la cual es:

$$f_{\text{res}} = \sqrt{\frac{MVA_{\text{CC}}}{MVA_{\text{S}_{\text{CAP}}}}} \quad (16)$$

Donde:

MVACC = Es la potencia de corto circuito donde está conectado el banco de capacitores. MVARS_{CAP} = Es la potencia del banco de capacitores.

La figura 24 muestra las corrientes a través de un banco de capacitores cuando están expuestos a las armónicas.

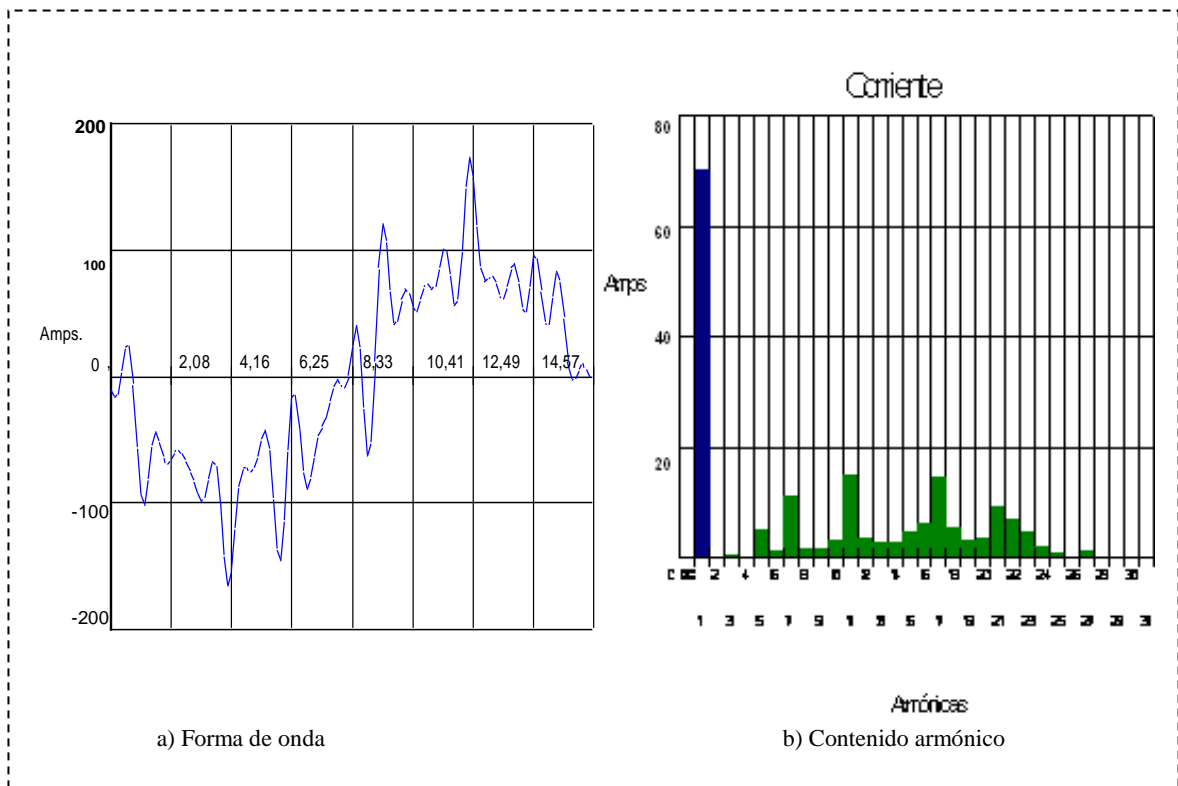


Figura 24. Corriente armónica en un banco de capacitores de 60 kVAr, 480 Volts.

Fuente: <http://elec.itmorelia.edu.mx/armonico/Capitulo%20V.htm>

3.5 COMPONENTES ARMÓNICAS

Las corrientes armónicas son aquellas que se manifiestan dentro de los sistemas eléctricos a una frecuencia múltiplo de la fundamental 60 Hz , por ejemplo, la 3a. [180 Hz], 5a [300 Hz], 7a. armónica [420 Hz], etc.

La distorsión de la onda senoidal fundamental, generalmente ocurre en múltiplos de la frecuencia fundamental. Así sobre un sistema de potencia de 60 Hz, la onda armónica tiene una frecuencia expresada por la ecuación 17.

$$f_{armónicas} = n \times 60 \text{ Hz} \quad (17)$$

Donde:

$n = 1, 2, 3, 4, \dots, \text{etc.}$

La figura 25 ilustra la onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y su 2do, 3ro, 4to, y 5to armónicos.

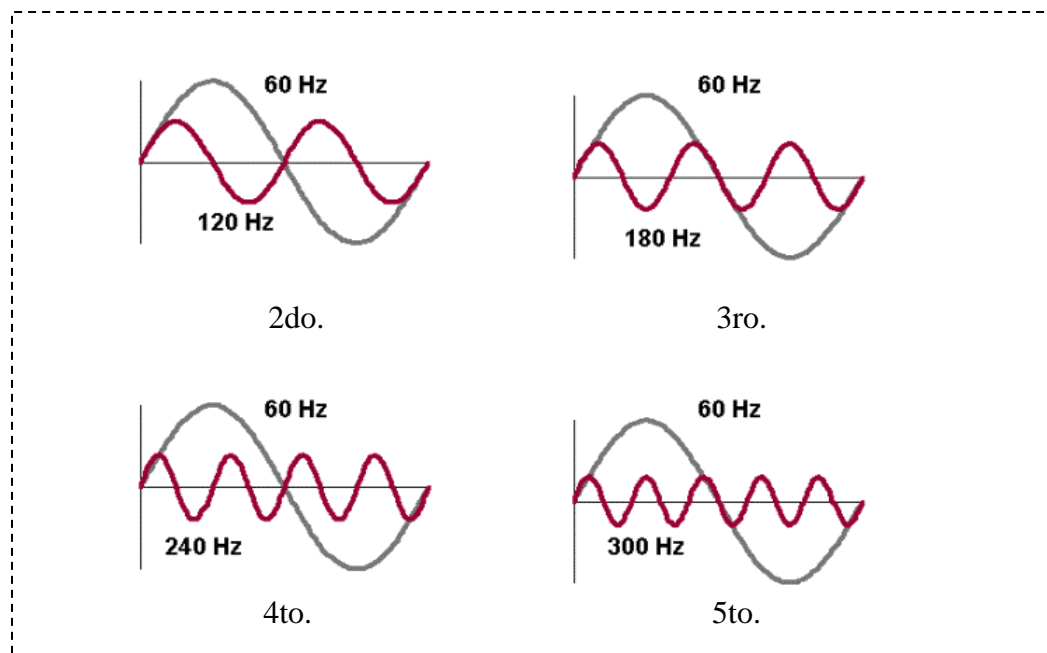


Figura 25. La onda senoidal a la frecuencia fundamental (60 Hz) y armónicos: 2do (120 Hz); 3ro (180 Hz); 4to (240 Hz); y 5to (300 Hz)

Fuente: <http://www.todomonografias.com/electronica-y-electricidad/armonicos/>

La Figura 26, muestra como una onda deformada puede ser descompuesta en sus componentes armónicas. La onda deformada se compone de la fundamental combinada con las componentes armónicas de 3er y 5to orden.

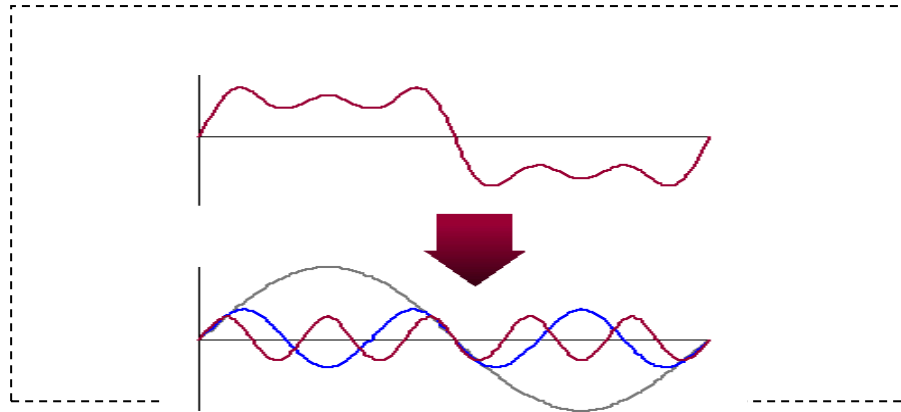


Figura 26. La onda deformada compuesta por la superposición de una fundamental a 60 Hz y armónicas menores de tercer y quinto orden

Fuente: <http://jaimenvp.tripod.com/Electricidad/armonico519.htm>

Las corrientes armónicas son producidas por todas las cargas que tengan una fuente de rectificación produce una distorsión de la onda fundamental de 60 Hz. Estas cargas son llamadas No-lineales y se relacionan con cualquier tipo de carga electrónica, tales como balastos electrónicos, arrancadores estáticos, PC's, entre otras.

Las armónicas pueden ocasionar disturbios en la red de distribución de energía eléctrica y causar calentamiento en cables, en los devanados de los motores y transformadores, el disparo repentino de interruptores, el sobrecalentamiento (y posible explosión) de capacitores, y también el mal funcionamiento de equipos de control y medición en general.

En particular, al incorporar un banco de capacitores en una instalación con equipos productores de armónicas, se debe tener en cuenta que aunque

los capacitores son cargas lineales, y por lo tanto no crean armónicas por sí mismos, pueden contribuir a producir una amplificación importante de las armónicas existentes al entrar en combinación con las mismas.

Al respecto hay que considerar que la impedancia de un capacitor se reduce cuando crece la frecuencia, presentando así un camino de baja impedancia para las corrientes de las armónicas superiores. Por su parte, los capacitores de corrección del factor de potencia forman un circuito paralelo con la inductancia de la red de distribución y con la del transformador. Así las corrientes armónicas generadas por los elementos no lineales se dividen entre las dos ramas de este circuito paralelo, dependiendo de la impedancia presentada por el circuito para cada armónico.

Esto puede provocar una sobrecorriente muy perjudicial para el capacitor. En el peor de los casos, cuando la frecuencia de alguna corriente armónica coincide, o está próxima, con la frecuencia de resonancia del circuito paralelo, la corriente que circula por cada rama del banco puede llegar a ser tan grande que los capacitores se degraden aceleradamente, o eventualmente exploten. Asimismo, estas corrientes armónicas también producen sobretensiones que se suman a la tensión total aplicada al capacitor y pueden dañar al dieléctrico del mismo.

Al energizar un banco de capacitores esta toma corrientes transitorias, cuya magnitud puede llegar a alcanzar valores elevados en el momento de cerrar el circuito. Un banco de capacitores descargado, hace bajar momentáneamente a cero la tensión de la línea en el lugar de su instalación, y para el sistema esto representa un corto circuito aparente. Si los capacitores se encontraban cargados antes de conectarse a la línea y si la polaridad de tensión era distinta a la de la línea en el momento de la conexión, se producen corrientes todavía más altas.

Existen dos razones que se deben considerar cuando se instalen capacitores para corregir el factor de potencia. La primera razón, es como ya se había mencionado anteriormente es que los capacitores son por naturaleza un camino de baja impedancia para las corrientes armónicas, esto es, absorben la energía a las altas frecuencias. Este aumento en las corrientes, incrementa la temperatura del capacitor y por consiguiente reduce su vida útil. La segunda razón, y potencialmente más peligrosos, es el efecto de resonancia.

Cuando los capacitores son conectados al sistema eléctrico, ellos forman un circuito de resonancia en paralelo junto con las inductancias del sistema (transformador). Si llegase a existir una corriente armónica cercana al punto de resonancia formado, entonces el efecto se magnifica. Este efecto amplificado, puede causar serios problemas tales como un exceso en la distorsión de tensión, disparos por sobretensiones en los controladores, niveles de aislamiento estresados de transformadores y conductores.

Se recomienda que para evitar que la distorsión armónica no afecte el funcionamiento adecuado de un capacitor, su corriente eficaz no debe sobrepasar un 115% de su valor a plena carga.

CAPITULO 4

METODOLOGÍA PARA LA COMPENSACIÓN DE POTENCIA REACTIVA

En esta metodología se hace un análisis de las características que un banco de capacitores debe reunir para llevar a cabo el suministro de potencia reactiva dentro de un sistema industrial, así como los criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados, contemplando que en el capítulo 2 se muestran las tablas y conexiones para la selección del banco de capacitores

4.1 CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA

En todos los casos que se estudiarán a continuación se aplicarán soluciones prácticas que de ninguna forma pretende ser la óptima o ideal ya que ésta requeriría estudiar la configuración del circuito, la distribución de cargas, la regulación de tensión, etc. Por lo tanto será el proyectista o instalador el que optará por el criterio a aplicar en cada caso, el objeto de esta metodología es proporcionar una guía para calcular la potencia reactiva necesaria.

4.1.1. CÁLCULO EN INSTALACIONES INDUSTRIALES CON MEDICIÓN DE ENERGÍA REACTIVA

Conociendo las energías activa y reactiva consumidas en uno o varios períodos de medición, por ejemplo los estados mensuales de los medidores y las horas mensuales de utilización, puede calcularse el consumo de potencia y el factor de potencia promedio de la instalación.

$$P = \frac{\text{kWh}}{h} = \text{kW} \quad (18)$$

$$Q = \frac{\text{kVArh}}{h} = \text{kVAr} \quad (19)$$

El tiempo de utilización se refiere a la cantidad de horas efectivas de trabajo dentro del período de facturación de energía el cual viene siempre impreso en la factura. El tiempo de utilización se puede calcular aproximadamente tomando en cuenta los siguientes lineamientos:

Si se tiene un taller con consumos de 2430 kWh y 2322 kVArh que trabaja de lunes a viernes de 8 a 18 horas, de las cuales de 8 a 12 horas lo hace al 100% de la carga, de 12 a 14 horas al 50%, y de 14 a 18 horas al 80%, además trabaja los sábados de 8 a 13 horas con sólo el 30% de la carga y se desea alcanzar un factor de potencia de 0.92. La facturación cubre un mes de 31 días con 4 sábados, 4 domingos y 2 feriados:

Entonces se tiene que:

Tiempo de utilización = $21 \times (1 \times 4 + 0.5 \times 2 + 0.8 \times 4) + 4 \times (0.3 \times 5) \approx 180$
horas

(20)

21 = Días hábiles: $31 - 4 - 4 - 2$

$1 \times 4 = 100\%$ de la carga en 4 horas

$0.5 \times 2 = 50\%$ de la carga en 2 horas

$0.8 \times 4 = 80\%$ de la carga en 4 horas

4 = Sábados

$0.3 \times 5 = 0.330\%$ de la carga: 5 horas

Una vez que se obtuvo el tiempo de utilización de la ecuación 20 se efectúa la sustitución de este valor en las ecuaciones 18 y 19 para obtener las potencias correspondientes.

$$P = \frac{\text{kWh}}{h} = \frac{2430}{180} = 13.5 \text{ kW}$$

$$Q = \frac{\text{kVArh}}{h} = \frac{2322}{180} = 12.9 \text{ kVAr}$$

Para encontrar el factor de potencia al cual opera el sistema se aplica la ecuación 10 y posteriormente la ecuación 6.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{13.5^2 + 12.9^2} = 18.67 \text{ kVA}$$

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S} = \frac{13.5}{18.67} = 0.72$$

Posteriormente se corrige el factor de potencia de 0.72 atrasado a 0.92 atrasado aplicando la ecuación 21 y con el resultado obtenido se selecciona la potencia del banco de la tabla 4.

$$Q_{\text{CAP}} = \text{kW} \left\{ \left[\frac{1}{(\cos\varphi_1)^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} - \left[\frac{1}{(\cos\varphi_2)^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (21)$$

$$Q_{\text{CAP}} = 13.5 \left\{ \left[\frac{1}{(0.72)^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} - \left[\frac{1}{(0.92)^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$

$$Q_{CAP} = 6.5 \text{ kVAr} \cong 7.5 \text{ kVAr} \quad (\text{valor comercial más próximo de la tabla 4})$$

Finalmente se selecciona las especificaciones para el banco de capacitores trifásicos en baja tensión con la potencia en KVAR calculada en el punto anterior, teniendo entonces:

Tabla 7. Valores para bancos de capacitores trifásicos en baja tensión de 220 V.

Tensión de línea (V)	Potencia (kVAr)		Capacitanci a nominal (μ F)	Corriente nominal (A)		Fusible NH ó Dz (A)	Conductor de conexión mm ²
	50 Hz	60 Hz		50 Hz	60 Hz		
	220	2.1		2.5	137.01		
4.2		5.0	274.03	10.9	13.1	25.0	2.5
6.3		7.5	411.04	16.4	19.7	32.0	6.0
8.3		10.0	548.05	21.8	26.2	50.0	10.0
10.4		12.5	685.07	27.3	32.8	63.0	16.0
12.5		15.0	822.08	32.8	39.4	63.0	16.0
14.6		17.5	959.09	38.2	45.9	80.0	25.0
16.6		20.0	1096.12	43.7	52.5	100.0	25.0
18.7		22.5	1233.12	49.1	59.0	100.0	35.0
20.8	25.0	1370.14	54.6	65.6	125.0	35.0	

4.1.2. CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA POR EL MÉTODO DE TABLAS

Para realizar el cálculo de la potencia reactiva por tabla es necesario conocer los siguientes aspectos:

- La potencia activa consumida en kW
- El factor de potencia inicial
- El factor de potencia deseado

Suponiendo que una industria consume una potencia de 220 kW, con un factor de potencia de 0.85 atrasado y se desea mejorar el factor de potencia

hasta 0.95, entonces a partir de estos datos se prosigue a calcular la potencia del banco de capacitores necesaria para compensar la potencia reactiva necesaria para elevar el factor de potencia al valor deseado.

Para ello inicialmente se debe hacer uso de la tabla 2 seleccionar en función del $\cos \phi$ y de la instalación antes y después de la compensación una constante K a multiplicar por la potencia activa para encontrar la potencia del banco de capacitores a instalar

La constante K que determinara el factor por el cual se debe multiplicar la potencia activa se localiza identificando en la primera columna el factor de potencia inicial de nuestro sistema, es decir el factor de potencia original sin compensación de potencia reactiva, posteriormente se identifica el valor del factor de potencia hacia el cual se quiera corregir y se elige el valor en el cual se intersecta el factor de potencia inicial con el deseado

Tabla 8. Tabla para el cálculo del Factor de potencia deseado del banco de capacitores.

Factor de potencia inicial	Factor K							
	Factor de potencia deseado							
	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97
0.76	0.371	0.4	0.429	0.46	0.492	0.526	0.563	0.605
0.77	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.5	0.537	0.578
0.78	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552
0.79	0.292	0.32	0.35	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525
0.8	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499
0.81	0.24	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473
0.82	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447
0.83	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.38	0.421
0.84	0.162	0.19	0.22	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395
0.85	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369

Una vez que se encontró este valor se sustituye en la ecuación 12, para calcular la potencia reactiva.

$$Q_c = P \times \text{Factor K} = 315 \text{ kW} \times 0.291 = 92 \text{ kVAr}$$

$Q_c \approx 100 \text{ kVAr}$ (valor comercial más próximo de la tabla 5)

Posteriormente se selecciona la potencia del banco de capacitores monofásicos en media tensión con el valor más próximo de la potencia calculada, obteniendo:

Tabla 9. Capacidades en kVAr para capacitores monofásicos en baja tensión

Capacidades en kVAr para capacitores monofásicos en baja tensión	
Tensión	kVAr
2400	50
2770	100
4160	150
4800	200

Por lo que la potencia del capacitor a instalar para mejorar el factor de potencia será de 100 kVAr o se puede sustituir por 2 capacitores de 50 kVAr

4.1.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA REACTIVA A PARTIR DE LA FACTURA DE LA DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El cálculo de potencia a través de la factura es solamente un método

aproximado pero muy práctico para el cálculo la potencia reactiva del banco de capacitores. Generalmente proporciona resultados aceptables, pero si no se hace un correcto análisis, los resultados pueden ser insatisfactorios.

Para este caso el procedimiento a seguir es similar al realizado por el método de tablas, la factura de energía eléctrica se encuentran los datos necesarios para calcular la potencia reactiva de los bancos de capacitores si se desea elevar el factor de potencia que se indica en la factura, la forma de calcularla es la siguiente:

De la factura de energía eléctrica tenemos los datos de la potencia consumida en kW y kVAr así como el factor de potencia de nuestro sistema, de aquí que con los datos de las potencias podamos calcular el factor de potencia con las mismas ecuaciones con las que se ha trabajado anteriormente con la simple finalidad de corroborar de que este sea el correcto. Para calcular la potencia de los bancos de capacitores se hace uso de la ecuación 21, considerando el factor de potencia al cual se quiera elevar. Este se ejemplificara posteriormente en el análisis económico en el capítulo 4.5.

4.2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE UNIDADES

De acuerdo con el tipo de conexión y con los valores conocidos para las unidades capacitivas las cuales se presentan en el capítulo 2, los fabricantes de capacitores recomiendan la formación de grupos de serie, de acuerdo a la tabla 6.

En la tabla 6 se especifica el número de unidades capacitivas por grupos serie, el número mínimo de unidades por grupo y el mínimo número de unidades por grupo en el cual deben estar conformados los bancos de capacitores.

Ahora bien si se desea formar un banco de capacitores trifásicos de 30 MVAR, 115 kV entre fases en conexión estrella con neutro flotante, que permita una sobretensión máxima del 10% entonces se debe obtener el mínimo número de unidades capacitivas trifásico aplicando la ecuación 9 por fase y suponiendo que se emplea una conexión estrella con neutro flotante formada de 5 grupos en serie, entonces por datos de la tabla 6, se contemplan 10 unidades mínimas por grupo y 150 unidades por banco trifásico, por lo que se puede aplicar la ecuación 34 para encontrar el mínimo número de unidades trifásico.

Aplicando la ecuación 22 se obtiene que:

$$\text{Mínimo número } 3_{\phi} = (\text{Número de grupos en serie/fase}) \quad (22)$$

(Mínimo número de grupos en serie para las tres fases)

$$\text{kVAr} = \frac{\text{kVAr}_{3\phi}}{3} = \frac{30000}{3} = 10000$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 22 se obtiene:

$$\begin{aligned} \text{Mínimo número de unidades } 3_{\phi} &= 5 \text{ grupos} \times 10 \text{ unidades/grupo} \times 3 \text{ fases} \\ &= 150 \text{ unidades} \end{aligned}$$

A continuación se utiliza la ecuación 23 para calcular los kVAr por cada unidad.

$$\text{kVAr/unidad} = \frac{\text{kVAr}_{3\phi}}{\text{Mínimo número de unidades trifásicas}} = \frac{30000}{150} = 200 \quad (23)$$

Para los 115 kV entre fases, se hace uso de la ecuación 24 y se obtiene:

$$V_{LN} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}} \quad (24)$$

$$V_{LN} = \frac{115}{\sqrt{3}} = 66.39 \text{ kV}$$

Como cada fase está formada por 5 grupos en serie, la tensión por grupo se obtiene utilizando la ecuación 25.

$$V_{\text{grupo}} = \frac{V_N}{\text{No. Grupos}} = \frac{66.39}{5} = 13.27 \text{ kV} \quad (25)$$

Por lo tanto, se seleccionan unidades de 13.28 kV ya que es el valor comercial más próximo.

CAPITULO 5

PRINCIPIO DEL MOTOR DE CORRIENTE ALTERNA

Desde hace mucho tiempo el motor de inducción del tipo jaula de ardilla ha sido el caballo de batalla de la industria por su simplicidad, fuerte construcción y bajo costo de fabricación. Con el empleo cada vez más extenso de controles electrónicos por ajuste de frecuencia. El motor de inducción de corriente alterna (c.a.) parece encontrarse en ventaja para mantener su liderazgo. A fin de obtener un funcionamiento óptimo, es importante que el usuario tenga un conocimiento adecuado de los principios y características de operación tanto de los motores de inducción como de su control.

5.1. MOTORES ELÉCTRICOS

El motor es un elemento indispensable en un gran número de equipos electrónicos. El conocimiento de su forma de trabajo y sus propiedades es imprescindible para cualquier técnico o aficionado que emplee estos componentes para el montaje o mantenimiento de dichos equipos, con el objeto de poder efectuar la elección del modelo más adecuado y así poder obtener el mejor rendimiento de los mismos. La misión fundamental del motor eléctrico es la de transformar la energía eléctrica, que se le suministra, en una energía mecánica que será la que se emplea para poner en movimiento el mecanismo del equipo en el que se instale.

El funcionamiento de un motor, en general, se basa en las propiedades electromagnéticas de la corriente eléctrica y la posibilidad de crear a partir de ellas, unas determinadas fuerzas de atracción y repulsión encargadas de actuar sobre un eje y generar un movimiento de rotación.



Figura 27. Rotor, estator y ventilador de un motor eléctrico
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico

5.1.1. Rotor

El rotor de un motor suele construirse en base a dos sistemas, aunque el principio de operación sea el mismo, que consiste en disponer de un sistema de espiras en cortocircuito devanadas o no sobre un núcleo de material ferromagnético. El objetivo de las espiras es hacer circular a través de ellas las corrientes inducidas, para crear el campo de sentido contrario al producido por el estator.

El primer tipo de rotor que se va a considerar consiste en un cilindro formado por discos paralelos contiguos y aislados, provisto de ranuras situadas a lo largo de su superficie exterior sobre los que se encuentran las espiras. El segundo tipo de rotor está constituido por dos coronas conductoras unidas por barras también conductoras formando un cilindro hueco muy parecido a una jaula de animales, de donde toma su denominación, *Jaula de ardilla*, y es uno de los modelos más utilizados en la práctica, sobre todo en las aplicaciones de baja potencia.

El principio descrito antes para la generación de un campo giratorio por el estator, únicamente es aplicable en los casos en los que se disponga de las dos corrientes desfasadas 90° mencionadas. Esto no sucede en las aplicaciones habituales en las que los motores se han de conectar a la red normal, que es monofásica, con lo que no existe campo magnético giratorio. El efecto sería entonces que el motor no arrancaría, aunque por un sistema mecánico externo se le obliga al rotor a iniciar el giro, se observará como, después de eliminar la fuerza exterior, se mantendrá la rotación, aumentando la velocidad hasta que alcance la correspondiente a su régimen normal de funcionamiento. Esto se debe al que el campo monofásico aplicado se descompone en dos campos giratorios de la misma intensidad pero de sentido contrario cuyo efecto resultante se anula; sin embargo, basta con producir un desequilibrio entre ellos para que se acentúe uno y se atenúe el otro, dando lugar a un campo giratorio dominante que será capaz de hacer girar al inducido.

5.1.1.1. Tipos de rotores

Existen varios tipos de estos elementos, pero aquí solamente vamos a tratar los que son más usados en la industria; es decir, los rotores para motores asíncronos de corriente alterna.

5.1.1.1.1. Rotor de jaula de ardilla simple

En el dibujo se puede observar unos círculos negros, éstos representan las ranuras del rotor donde va introducido el bobinado. Existen varios tipos de ranuras, de ahí que existan varios tipos de rotores.

El rotor representado es de jaula de ardilla simple. Este tipo de rotor es el

usado para motores pequeños, en cuyo arranque la intensidad nominal supera 6 ó 8 veces a la intensidad nominal del motor. Soporta mal los picos de cargas.

Está siendo sustituido por los rotores de jaula de ardilla doble en motores de potencia media. Su par de arranque no supera el 140 % del normal.

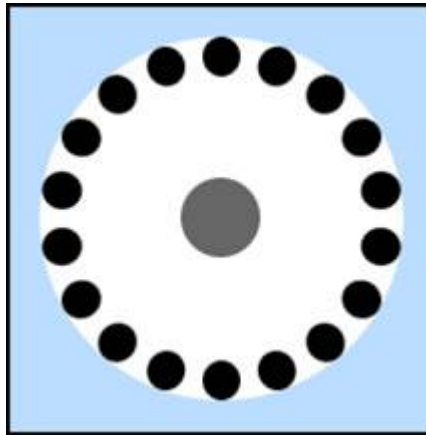


Figura 28. Rotor de jaula de ardilla simple

Fuente: <http://www.nichese.com/rotor.html>

5.1.1.1.2. Rotor de jaula de ardilla doble

En este otro dibujo, se observa que la ranura es doble, por este motivo tiene el nombre de jaula de ardilla doble. Las dos ranuras están separadas físicamente, aunque en el dibujo no se observe.

Este tipo de rotor tiene una intensidad de arranque de 3 ó 5 veces la intensidad nominal, y su par de arranque puede ser de 230 % la normal. Éstas características hacen que este tipo de rotor sea muy interesante frente al rotor de jaula de ardilla simple. Es el más empleado en la actualidad, soporta bien las sobrecargas sin necesidad de disminuir la velocidad, lo cual le otorga mejor estabilidad.

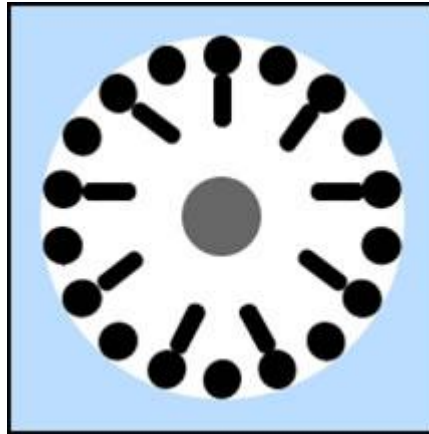


Figura 29. Rotor de jaula de ardilla doble
Fuente: <http://www.nichese.com/rotor.html>

5.1.1.1.3. Rotor con ranura profunda

El tipo de rotor que se ve en el dibujo es una variante del rotor de jaula de ardilla simple, pero se le denomina rotor de ranura profunda. Sus características vienen a ser iguales a la del rotor de jaula simple. Es usado para motores de baja potencia que necesitan realizar continuos arranques y paradas.

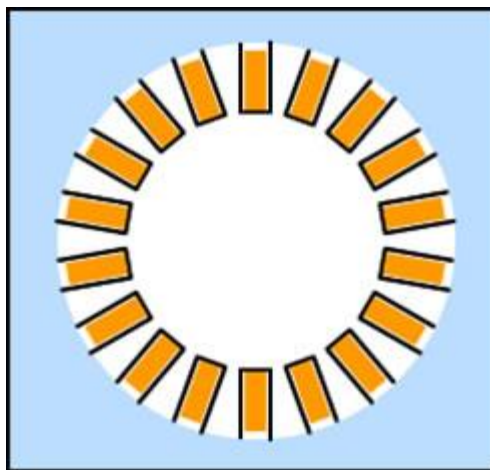


Figura 30. Rotor con ranura profunda
Fuente: <http://www.nichese.com/rotor.html>

5.1.1.1.4. Rotor de anillos rozantes

Se denominan rotores de anillos rozantes porque cada extremo del bobinado está conectado con un anillo situado en el eje del rotor. Las fases del bobinado salen al exterior por medio de unas escobillas que rozan en los anillos. Conectando unas resistencias externas a las escobillas se consigue aumentar la resistencia rotórica, de esta forma, se logra variar el par de arranque, que puede ser, dependiendo de dichas resistencias externas, del 150 % y el 250 % del par normal. La intensidad nominal no supera las 2 veces la intensidad nominal del motor.

5.1.2. Estator

Un estator es una parte fija de una máquina rotativa, la cual alberga una parte móvil (rotor), en los motores eléctricos el estator está compuesto por un imán natural (en pequeños motores de corriente continua) o por una o varias bobinas montadas sobre un núcleo metálico que generan un campo magnético en motores más potentes y de corriente alterna, también se les llama inductoras.

Las partes principales son:

- Carcasa
- Escudos
- Rodamientos (bolineras, cojinetes)
- Eje
- Bornera

Pruebas de estator: Valor del Megado: Esta prueba se realiza con ayuda del megger, conociendo así la resistencia de aislamiento; la cual debe ser mayor o igual a la tensión nominal en voltios dividida entre la potencia nominal

en kilovatios (Kw), sumándole a este último mil. Ejemplo: Resistencia = Tensión nominal en voltios Aislamiento \div Potencia Nominal en Kw + 1.000 Esta equivalencia es para una máquina a plena marcha o funcionamiento (en caliente); ya que en frío debe ser mayor de al menos un 20%.

Motor De Corriente Alterna. Se denomina motor de corriente alterna a aquellos motores eléctricos que funcionan con corriente alterna. Un motor es una máquina motriz, esto es, un aparato que convierte una forma cualquiera de energía en energía mecánica de rotación o par. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro por medio de la acción mutua de los campos magnéticos.

Un generador eléctrico, por otra parte, transforma energía mecánica de rotación en energía eléctrica y se le puede llamar una máquina generatriz de fem. Las dos formas básicas son el generador de corriente continua y el generador de corriente alterna, este último más correctamente llamado alternador. Todos los generadores necesitan una máquina motriz (motor) de algún tipo para producir la fuerza de rotación, por medio de la cual un conductor puede cortar las líneas de fuerza magnéticas y producir una fem. La máquina más simple de los motores y generadores es el alternador.



Figura 31. Estator

Fuente: <http://estajohana.blogspot.com/>

5.1.2.1. Arranque del estator

Con objeto de evitar el sistema mecánico de arranque se suele incluir sobre el estator un segundo devanado llamado devanado de arranque, situado en una posición de ángulo recto con el devanado principal. Al hacer pasar por este arrollamiento auxiliar una corriente con una diferencia de fase próxima a 90° respecto a la que circula por el principal, se comportara el motor como difásico, produciéndose un campo magnético giratorio poniéndose en marcha el rotor, en cuyo momento se puede suprimir dicha corriente auxiliar.

La forma de obtener la corriente de arranque con la diferencia de fase mencionada es utilizando una reactancia (bobina o condensador) en serie con el arrollamiento auxiliar, produciéndose una corriente que aunque no está desfasada exactamente a los 90° necesarios, resulta suficiente para el objetivo deseado.

Otro sistema empleado para el arranque de los motores *asíncronos* es el de situar dos grupos de espiras en cortocircuito arrolladas sobre el estator en una zona próxima al rotor. De esta forma, se obtiene un desequilibrio de fase del campo magnético que actúa sobre el inducido, que es suficiente para que el motor arranque y se mantenga en rotación

5.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN MOTOR ELÉCTRICO

El principio de funcionamiento del motor se basa en la ley de Faraday que indica que cualquier conductor que se mueve en el seno del campo magnético de un imán se generara una D.D.P entre sus extremos proporcional a la velocidad de desplazamiento. Si en lugar de un conductor rectilíneo con

terminales en circuito abierto se introduce un anillo conductor con los extremos conectados a una determinada resistencia y se hace girar en el interior del campo, de forma que varíe el flujo magnético abrazado por la misma se detectará la aparición de una corriente eléctrica que circula por la resistencia y que cesará en el momento en que se detenga el movimiento.

Normalmente en un motor se emplea un cierto número de espiras devanadas sobre un núcleo magnético de forma apropiada y también en algunas ocasiones se sustituye el imán permanente creador del campo por un electroimán, el cual produce el mismo efecto cuando se le aplica la corriente excitadora. A este último elemento (Imán o electroimán) se le denomina inductor, el conjunto espiras y núcleos móviles constituyen el inducido.

El sentido de la corriente eléctrica que circula por el inducido está definido mediante la *Ley de Lenz* que indica que toda variación que se produzca en el campo magnético tiende a crear un efecto en sentido opuesto que compense y anule la causa que la produjo. Si esta ley se aplica a nuestro caso nos indicará que la corriente inducida creará un campo magnético para que se oponga al movimiento de la misma lo que obligará a aplicar una determinada energía para mantener el movimiento la cual dependerá lógicamente de la intensidad de la corriente generada y del valor de la resistencia de carga (R_c), pudiendo calcularse como el producto de la energía consumida en la carga por un número que expresará el rendimiento de la conversión.

Ahora bien, todos los fenómenos expresados corresponden al efecto opuesto al de un motor, es decir, que mediante el sistema descrito se genera una corriente eléctrica a partir de un movimiento mecánico, lo que corresponde al principio de funcionamiento de un *dinamo*, sin embargo, al ser dicho efecto reversible, bastará con invertir los papeles y si en lugar de extraer corriente del inducido se le aplica una determinada tensión exterior, se producirá la

circulación de una cierta intensidad de corriente por las espiras y éstas comenzarán a girar, completándose así el motor. Es importante considerar que teniendo en cuenta la ley de Lenz mencionada anteriormente, al girar se creará en el mismo una determinada tensión eléctrica, de sentido contrario al exterior que tenderá a oponerse al paso de la corriente para compensar así las variaciones de flujo magnético producidas, denominada *fuerza contra electromotriz* (FCEM)

5.3. CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR ELÉCTRICO

Normalmente los motores se caracterizan por dos parámetros que expresan directamente sus propiedades. Son los siguientes:

- Velocidad de rotación
- Par motor

Las características de par y velocidad en un motor *asíncrono* están bastante relacionadas y normalmente se representan mediante una curva en la que se puede elegir el punto de funcionamiento más adecuado. Esto es lógico ya que cuando arranca el motor en ausencia de carga la velocidad del rotor tiende a ser igual a la del campo giratorio del estator, ya que basta con una pequeña diferencia entre ambas para que se creen en el inducido las corrientes necesarias para mantenerlo en rotación y por lo tanto el par desarrollado será muy débil debido a que únicamente será necesario vencer la resistencia de rozamiento del eje. Sin embargo, en el momento en que se acople una determinada carga mecánica al rotor, será necesario que el par aumente y se iguale al que se precisa para mover dicha carga.

Como consecuencia la velocidad disminuirá porque sobre el rotor aumentan las corrientes inducidas y estas son proporcionales a la diferencia de

velocidad entre los campos del inductor y del inducido. A esta diferencia se la denomina *deslizamiento*.

Debido a las características que presenta el motor en el momento del arranque, el par obtenido no es elevado y es siempre bastante inferior al par máximo que puede desarrollar el motor, por esto en los dispositivos empleados para la puesta en rotación se tiene en cuenta esta circunstancia con objeto de que el motor supere siempre esta fase inicial.

Otro de los parámetros que también debe ser tenido en cuenta, sobre todo en los motores de potencia medias o elevadas es el denominado "*factor de potencia*" que expresa la cifra de "*potencia reactiva*" que el motor emplea durante su funcionamiento. Se expresa como la relación entre la potencia real absorbida por el motor en watts y la potencia aparente que se define mediante el producto de la tensión aplicada por la corriente absorbida. Es decir, que el *factor de potencia es igual a $W_{real} / potencia\ aparente$* . A este factor también se le denomina $\cos \phi$.

5.3.1. Velocidad de rotación

Indica el número de vueltas por unidad de tiempo que produce el motor y depende por completo de la forma de construcción del mismo, de la tensión de alimentación, así como de la carga mecánica que se acople a su eje, aunque esto último no es aplicable a un tipo especial de motores denominados *síncronos* o *sincrónicos*. Las unidades empleadas son las revoluciones por minuto (r.p.m.) y las revoluciones por segundo (r.p.s.).

5.3.2. Par motor

Expresa la fuerza de actuación de éste y depende lógicamente de la potencia que sea capaz de desarrollar dicho motor, así como de la velocidad de

rotación del mismo. El concepto de par motor es importante a la hora de elegir un modelo para una aplicación determinada; se define como la fuerza que es capaz de vencer el motor multiplicada por el radio de giro. Esto significa que no supone lo mismo mover, por ejemplo, una polea que transmita una fuerza de 10kg., con un radio de 5cm. que con otro radio de 10cm., ya que el par motor será en el segundo caso el doble que el del primero. Las unidades de medida suelen ser el kg x cm o bien, el g x cm.

Además de estos factores también se tienen en cuenta otros como son las condiciones de arranque, la potencia absorbida y el factor de potencia.

Existe una relación matemática que liga ambos parámetros, ya que como se ha explicado no son independientes entre sí; dicha relación se expresa por la siguiente fórmula.

$$M= 0,95 \times P/N$$

Donde M es el par motor expresado en kg. por cm., P es la potencia absorbida en Watts y N es la velocidad en revoluciones por minuto.

5.4. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

En función de la corriente empleada para la alimentación del motor, que define por completo a las características constructivas del mismo, se pueden clasificar los motores en tres grandes grupos:

1. Motores de corriente continua
2. Motores de corriente alterna
3. Motores universales

5.4.1. Motores de CC

En los motores de CC es necesario aplicar al inducido una CC para obtener movimiento, así como al inductor en el caso de que éste sea del tipo de electroimán, conociéndose a esta última con la denominación de corriente de excitación. Su construcción suele estar realizada mediante un inductor cilíndrico hueco (imán o electroimán) que contiene un cierto número de pares de polos magnéticos (Norte-Sur), que se conoce con el nombre de Estator. En su interior se encuentra el inducido o rotor también cilíndrico sobre el cual se encuentra el arrollamiento. El eje está acoplado mediante rodamiento o cojinetes para permitir el giro y dispone de una superficie de contacto montada sobre un dispositivo llamado colector sobre el que se deslizan los contactos externos o escobillas.

Según se ha mencionado, un motor de CC está compuesto por un imán fijo que constituye el inductor y un bobinado denominado inducido que es capaz de girar en el interior del primero, cuando recibe una CC.

Suponiendo; en un motor elemental, si sobre la bobina se hace pasar una corriente se creará en la misma un campo magnético que la hará girar al crearse una fuerza de atracción y repulsión con respecto al imán del estator. Durante este giro se produce una serie de efectos que condicionan la construcción del motor, el primero de ellos se produce cuando se enfrentan dos polos de distinto signo, momento en que la atracción será máxima y la bobina tiende a detenerse, sin embargo, por inercia pasará de largo pero el sentido de giro se invertirá y se volverá hacia atrás deteniéndose al cabo de unas cuantas oscilaciones. Ahora bien, si en el momento en que los polos opuestos se enfrentan, se invierte el sentido de la circulación de la corriente de la bobina, automáticamente se producirá un cambio de signo en los polos magnéticos creados por la misma, dando origen a que aparezcan unas fuerzas de repulsión

entre ellos que obligará a aquella a seguir girando otra media vuelta, debiéndose invertir la corriente nuevamente y así sucesivamente.

El método empleado para producir estos cambios es el de dividir el anillo colector por el que recibe la bobina la corriente de alimentación, en dos mitades iguales separadas por un material aislante, que giran deslizándose sobre dos contactos eléctricos fijos o escobillas uno conectado al polo positivo y el otro al negativo.

De esta forma dichos contactos cruzaran dos veces por cada rotación la división entre los semianillos, invirtiéndose así el sentido de circulación de la corriente de la bobina.

5.4.2. Motores de CA

Los motores de corriente alterna son los que se alimentan de este tipo de excitación y comprende dos tipos con propiedades bastantes diferenciadas:

1. Motores asíncronos
2. Motores síncronos

Los motores asíncronos también conocidos con el nombre de motores de inducción, basan su funcionamiento en el efecto que produce un campo magnético alterno aplicado a un inductor o estator sobre un rotor con una serie de espiras sin ninguna conexión externa sobre el que se inducen unas corrientes por el mismo efecto de un transformador.

Por lo tanto, en este sistema solo se necesita una conexión a la alimentación, que corresponde al estator, eliminándose, por lo tanto, el sistema de escobillas que se precisa en otros tipos de motores.

Los motores síncronos están constituidos por un inducido que suele ser fijo, formando por lo tanto el estator sobre el que se aplica una corriente alterna y por un inductor o rotor formado por un imán o electroimán que contiene un cierto número de pares de polos magnéticos. El campo variable del estator hace girar al rotor a una velocidad fija y constante de sincronismo que depende de la frecuencia alterna aplicada. De ello deriva su denominación de síncronos. Los motores universales son aquellos que pueden recibir alimentación tanto continua como alterna, sin que por ello se alteren sus propiedades.

Básicamente responden al mismo principio de construcción que los de CC pero excitando tanto a inductor como a inducido con la misma corriente, disponiendo a ambos en serie sobre el circuito de alimentación.

5.4.2.1. Motores de inducción (Asíncronos)

Una vez conocidos los motores de CC, se van a describir seguidamente los principios básicos y formas de operación de uno de los modelos que cuenta con un elevado número de aplicaciones, se trata del tipo *asíncrono* excitado por una corriente alterna, también conocido como motor de inducción.

El principio de funcionamiento de estos motores está basado en los experimentos de Ferrari en el año 1885, el cual colocó un imán de herradura, con un eje vertical, que le permitía girar libremente en las proximidades de un disco metálico que también puede girar alrededor del mismo eje. Al hacer girar el imán, observo que, aunque no había contacto, el disco metálico también giraba en el mismo sentido.

Este fenómeno se debe a que al girar el imán se crea un campo magnético giratorio y aparecen sobre el disco unas corrientes eléctricas inducidas las cuales recordando la ley de Lenz, tenderán a crear a su vez otro

campo magnético que se oponga la inicial; el efecto resultante es el giro del disco, ya que de esta forma, los extremos del imán estarán siempre frente a las mismas zonas de aquel y la situación volverá a ser similar a la inicial, ya que al girar ambos con la misma velocidad el efecto es el mismo que si estuvieran parados.

Sin embargo, en el instante en el que disco alcanza una velocidad exactamente igual que la del imán desaparecerán las corrientes inducidas sobre el mismo, con lo que se retrasará, lo que obligará a que aparezcan de nuevo dichas corrientes. De todo ello se obtiene el resultado de que el disco va siempre algo retrasado con respecto al imán; esto es, su velocidad es algo menor que la de aquel. Debido a ello a este sistema de le denomina *asíncrono*, que significa que no existe igualdad de velocidad o sincronismo.

El experimento descrito no se puede convertir directamente en un motor ya que no transforma una energía eléctrica y mecánica sino que únicamente efectúa un acoplamiento electromagnético por ser necesario tener que mover el imán para hacer girar el disco.

El método empleado para obtener un campo giratorio sin necesidad de tener que mover un imán consiste en emplear dos electroimanes formando un ángulo recto a los que se aplica dos corrientes alternas de la misma frecuencia pero con una frecuencia de fase entre ellas de 90° . Al emplear una CA sinusoidal, se obtendrá un campo que varía de la misma forma, que al combinarse con el otro similar a él pero con una magnitud diferente, debida a la diferencia de fase y con otra diferenciación creada por la misma situación, se produce el efecto deseado. Este conjunto de dos bobinados constituye el inductor o estator y provoca sobre el rotor, una velocidad de giro $N = F$, siendo F la frecuencia de la CA.

El motor asincrónico trifásico es el tipo de motor que se emplea en la generalidad de los casos. Se los fabrica dentro de un amplio rango de potencia y para una gran variedad de características, siendo el más económico de los motores y fácil de arrancar. Los dos componentes fundamentales de este motor son el estator o parte fija y el rotor o inducido que constituye la parte móvil. El estator está compuesto por un núcleo de hierro laminado en cuyo interior existen tres arrollamientos o bobinas, una por fase, colocados simétricamente formando un ángulo de 120° , como muestra la imagen.

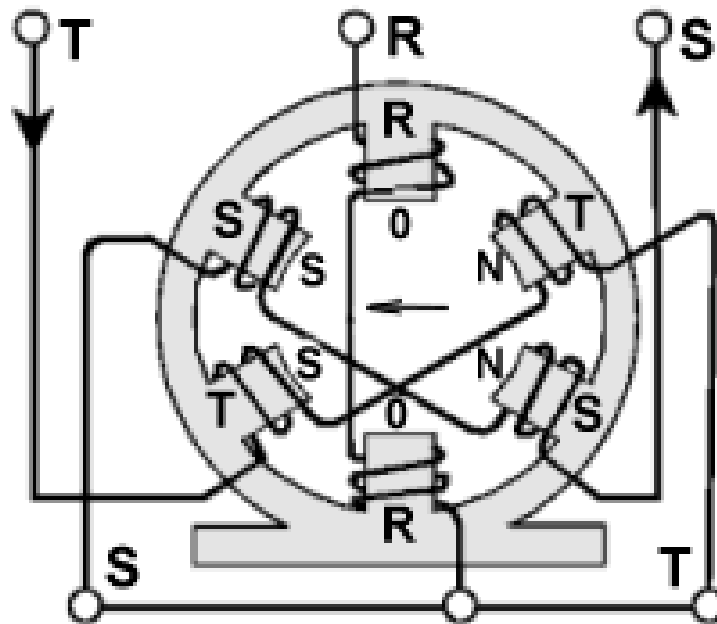


Figura 32. Motor asincrónico trifásico conectado a su bobina

Fuente: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/SANTA_FE/29/m_fun4.htm

En los circuitos de corriente alterna trifásica se originan en cada conductor de línea o fases, R, S o T fuerzas electromotrices que representan la variación de las intensidades de corriente.

Como se puede observar en la imagen, en un primer momento a los 0° o punto 1 se tiene T(+), R (0) y S (-).

Esto significa que la corriente está entrando por T y saliendo por S. De esta manera, en la bobina del estator se origina un campo de sentido contrario a la circulación de la corriente, produciéndose un polo sur a la entrada norte a la salida de corriente, según la convención adoptada de acuerdo a la figura.

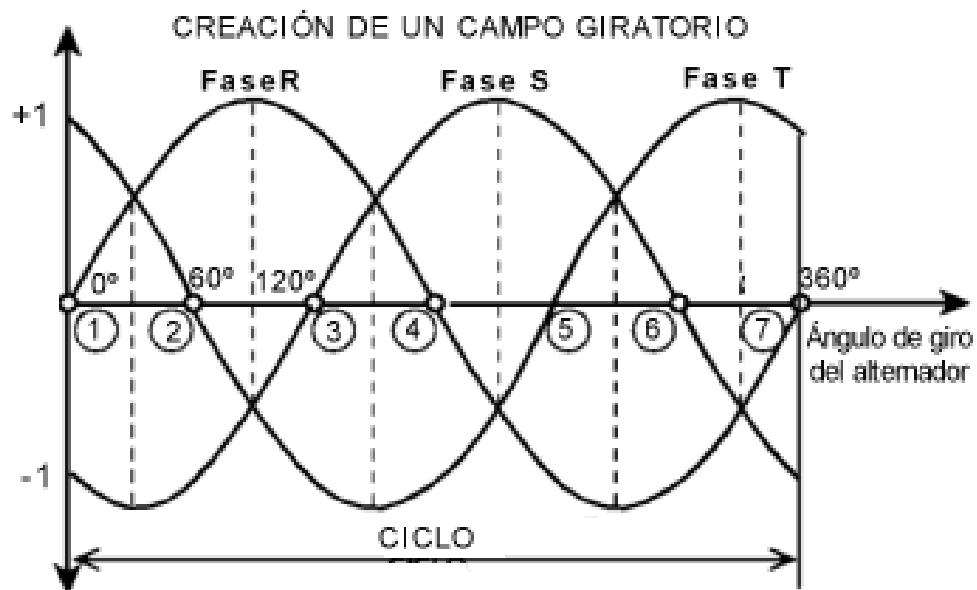


Figura 33. Creación de un campo giratorio

Fuente: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/SANTA_FE/29/m_fun4.htm

Si se analiza luego un punto 2 a los 60° de giro del alternador, se tiene ahora que la corriente entra por R(+) y sale por S(-), dado que la fase T en ese instante es igual a 0. De esa manera, se crean las polaridades sucesivas indicadas en los distintos puntos en las figuras correspondientes.

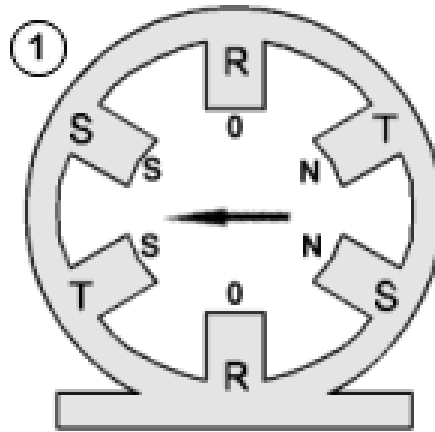


Figura 34. Motor asíncrono trifásico

Fuente: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/SANTA_FE/29/m_fun4.htm

Con una flecha, se ha indicado el campo resultante en cada diagrama observándose que el mismo ha girado, siguiendo la frecuencia de la corriente de suministro. De esa manera, los polos se trasladan constantemente, creando un campo magnético móvil llamado campo giratorio, de modo que, si se tiene una corriente alterna trifásica con una frecuencia de 50 ciclos, los polos creados por la corriente, giran a una velocidad de 50 revoluciones por segundo.

Si un cilindro macizo de cualquier material conductor, por ejemplo de cobre, se introduce en el espacio libre que existe en el centro del estator, las líneas de fuerza magnética cortan al mismo. Estas líneas de fuerza al cortar el cilindro inducen fuerzas electromotrices o corrientes eléctricas que originan a su vez un campo magnético, el que en su reacción con el campo giratorio del estator, provoca una fuerza de atracción que tiende a hacer girar al cilindro en el mismo sentido que rotan los polos, siendo éste el principio fundamental de funcionamiento de un motor a inducción.

La velocidad a la cual gira el cilindro es aproximadamente igual a la de los polos, nunca puede ser igual. Por ejemplo, si se tiene una corriente de 50 ciclos por segundo para el motor de 2 polos de la figura, el cilindro gira en 1150

segundos o sea 50 revoluciones por segundo o 3000 revoluciones por minuto, (R.P.M.).

Si en vez de 2 polos el motor es de 4 polos, en el mismo tiempo el inducido solo puede realizar media vuelta para pasar dos polos, de modo que el cilindro gira a la mitad de la velocidad, aproximadamente a 1500 R.P.M.

De acuerdo a ese análisis en general, puede decirse que:

$$\text{R.P.M.} = \frac{f}{2 \times n} \times 60 \quad (26)$$

Donde: f es la frecuencia de la red y n el número de polos del motor

En caso de que el cilindro girara a la misma velocidad que los polos, el flujo magnético cesaría de cortar transversalmente al cilindro, desapareciendo las corrientes inducidas y por lo tanto, la fuerza propulsora del motor.

Por dicho motivo, se llama a este motor asincrónico en contraposición del sincrónico que gira la velocidad del sincronismo o frecuencia de la red de suministro. La pequeña diferencia entre las dos velocidades se conoce con el nombre de deslizamiento o resbalamiento, que generalmente oscila entre un 3 a 5% de la velocidad sincrónica.

5.4.2.2. Motores de inducción (Síncronos)

Los motores *síncronos* constituyen otro de los modelos más destacados del grupo de los de CA. Como su nombre indica, su característica más destacada es la del sincronismo, es decir, que su velocidad de rotación será constante y uniforme y estará regulada por la frecuencia de la corriente de alimentación.

Normalmente este tipo de motores está formado por un inductor móvil o rotor y un inducido fijo o estator, intercambiándose sus funciones con respecto al resto de modelos en los que la parte móvil corresponde casi siempre al inducido.

5.4.2.2.1. Principio de funcionamiento síncrono

El principio de funcionamiento es bastante simple y consiste en los efectos combinados del campo magnético constante del inductor, creado por el electroimán alimentado por CC o bien por un imán permanente y del inducido que contiene una serie de bobinados a los que se les aplica una CA.

Supongamos una estructura elemental, constituida por dos pares de devanados sobre núcleos magnéticos, representados por 1 y 2 y un imán permanente situado sobre un eje giratorio que se encuentra en el centro geométrico de los elementos citados anteriormente en una dirección perpendicular al plano formado por éstos. Al aplicar una CA a la pareja de bobinas 1 se creará en ellas un campo magnético que variara de intensidad y de sentido según las alternancias de la corriente. En un determinado instante el campo será máximo entre ambas, creándose un polo norte en la zona superior de la bobina superior un sur en la zona inferior, otro norte en la cara superior de la bobina inferior y otro sur en la cara inferior; en este momento el imán será fuertemente atraído por ellas orientándose en sentido vertical. Si al mismo tiempo se aplica una segunda CA a la pareja de bobinas 2 cuya fase esté retrasada 90° con respecto a la anterior, el campo será nulo en el instante considerado debido a que la corriente pasa por el valor 0 y no ejercerá ninguna influencia. Sin embargo, comenzará a crecer seguidamente y a decrecer el producido por la bobina 1, haciendo que el imán gire hasta situarse en posición horizontal, alineado con los bobinados 2; el proceso continúa al disminuir este

segundo campo y comenzar a crecer el primero pero en sentido contrario al inicial, ya que la alternancia de la corriente ahora es negativa, con lo que se invertirán entre si los polos magnético señalados al comienzo. Ello hace que el imán continúe girando hasta ponerse otra vez vertical, pero con el norte hacia abajo y el sur hacia arriba. El paso siguiente corresponde a las bobinas 2 que también han invertido su campo, atrayendo otra vez al imán y manteniendo el giro. Esta secuencia se repetirá sucesivamente y el resultado obtenido será, como puede deducirse la transformación de una energía eléctrica en otra mecánica de rotación, propiedad fundamental de un motor.

5.4.2.2.2. Velocidad

En nuestro caso el imán permanente o rotor dará una revolución por cada ciclo de la corriente, por lo tanto la velocidad de giro coincidirá con la frecuencia, ya que si esta es de, por ejemplo 50 Hz, producirá 50 giros completos en un segundo y como consecuencia el rotor dará 50 vueltas en el mismo tiempo, o lo que es equivalente a 50 rps.

Si en lugar de emplear un imán para el rotor se emplearan dos en ángulo recto y unidos solidariamente al mismo eje y en vez de dos pares de bobinas desfasadas empleáramos cuatro, el efecto resultante también sería una rotación, pero la velocidad de giro resultante sería la mitad de la anterior. Por lo tanto, puede definirse la velocidad de rotación de un motor *síncrono* por la fórmula siguiente: $N = f / P$

Donde N representa dicha velocidad en rps, f es la frecuencia de la CA y P el número de pares de polos que posee el inductor; así en el caso anterior, como el imán tiene dos pares de polos, la velocidad resultante será de 25 rps.

5.4.2.2.3. Inductor e inducido

Algunos modelos de motores *síncronos* contienen el inducido en el interior del inductor, con lo que la parte móvil será la exterior, siendo el principio de funcionamiento es similar al descrito anteriormente.

En ocasiones se sustituyen los imanes permanentes del estator por unos electroimanes, en este caso, es necesario aplicar una CC de excitación, con objeto de poder crear todos los pares de polos magnéticos que se precisan.

Además y dado que estos electroimanes constituyen el rotor, siendo por lo tanto móviles, se requiere contar con un dispositivo capaz de producir los contactos eléctricos para el paso de dicha corriente durante la rotación como en el caso de los motores de CC. Para ello se emplean dos anillos conectores que resbalan sobre sendas escobillas de forma que el polo positivo permanezca siempre aplicado a uno de ellos y el negativo al otro.

Para las dos fases que se necesitan para el arranque y funcionamiento del motor se suele utilizar un condensador situado en serie con uno de los dos grupos de devanados. De esta forma la corriente se retrasara 90° aproximadamente al circular por este y alcanzara a las bobinas en las condiciones requeridas. Si en lugar de situar el condensador en los bobinados mencionados y se cambiara a los otros, el efecto sería el de invertirse el sentido de rotación, manteniéndose el resto de las características sin ninguna variación.

5.5. MOTORES MAGNÉTICOS

Los Motores magnéticos están contruidos basados en el "principio magnético linoavac", en la que dos imanes se repelen entre sí cuando se colocan uno frente al otro con la misma polaridad.

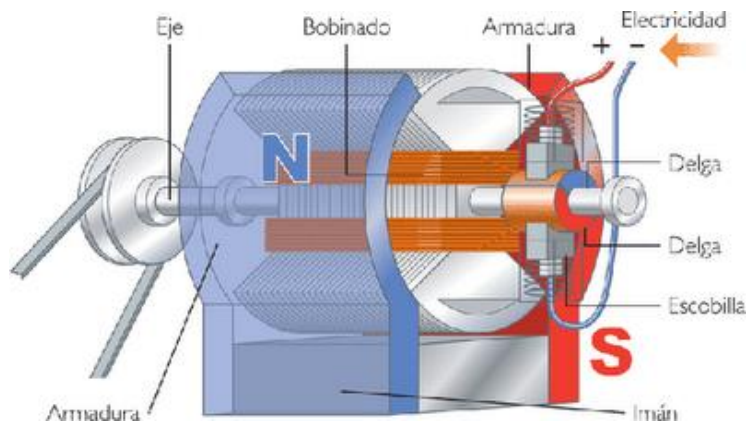


Figura 35. Motor eléctrico con movimiento en magnetismo y electricidad

Fuente: <http://cmagnetico.blogspot.com/2009/07/movimiento-electricidad-y-magnetismo.html>

5.5.1. Campo magnético giratorio de un motor trifásico asíncrono

El motor trifásico es la máquina rotante más simple y a su vez la de mayor rendimiento. Esto se debe a la simplicidad de la construcción de su rotor y a la presencia de un campo magnético rotativo formado por los bobinados de su estator.

De una manera simplificada, podemos decir que un motor trifásico está formado por tres bobinas cuyos ejes están desplazados 120° geométricos el uno del otro.

Recordemos que un sistema trifásico es el compuesto por tres tensiones de igual intensidad, igual frecuencia, desplazadas una de la otra por un ángulo de fase de 120° eléctricos

Si a cada una de las tres bobinas de un motor trifásico le conectamos una fase de un sistema de tensiones trifásico, en cada una de ellas se producirá un campo magnético pulsante siguiendo el eje geométrico de la bobina. Esto significa que en cada instante la intensidad del campo magnético producido por

la bobina varía. La intensidad del campo magnético será máxima cuando la tensión pase por su valor máximo y será igual a cero cuando la tensión sea igual a cero. En ese preciso instante la tensión cambia de sentido, por lo que el campo magnético también cambia de sentido.

El valor de la intensidad del campo magnético depende de la construcción de la bobina y del valor que la tensión que lo alimenta tenga en ese instante

Dentro del motor, en cada instante, habrá un campo magnético resultante de la suma de los producidos por cada una de las tres bobinas. Analizaremos la posición de ese campo magnético resultante para algunos ángulos destacados del sistema trifásico de tensiones.

Por convención tomamos que cuando la tensión aplicada a una bobina es positiva, el campo magnético que esta produce entra al motor, por lo contrario si la tensión es negativa, el campo producido sale del motor.

Conclusión del funcionamiento de un campo magnético:

- Si a tres bobinas iguales, desplazadas 120° la una de la otra le aplicamos un sistema de tensiones trifásicas se producirá un campo magnético giratorio.
- Por cada grado eléctrico que se desplace el sistema trifásico, el campo magnético girará un grado geométrico.
- El campo magnético giratorio mantiene su intensidad constante. Esta intensidad de campo vale 1,5 veces el valor del campo producido por una sola bobina.

5.5.2. Campo magnético rotativo

Un campo magnético rotativo o campo magnético giratorio es un campo magnético que rota a una velocidad uniforme (idealmente) y es generado a partir de una corriente eléctrica alterna trifásica. Fue descubierto por Galileo Ferraris en 1885, y es el fenómeno sobre el que se fundamenta el motor de corriente alterna.

5.5.2.1. Principio de funcionamiento

Al repartir sobre un cilindro de ferromagnético de hierro (estator para las máquinas eléctricas asíncronas) unas bobinas, se separan las entradas y salidas 120° entre sí y se alimentan con una corriente alterna, se obtiene por el efecto de la corriente conducida a través de ellas un campo magnético pulsante. Si se colocan otras dos bobinas predispuestas igual que la primera pero de modo que los planos que las contienen se sitúan a 60° a izquierda y a la derecha de la primera bobina y se alimenta cada grupo.

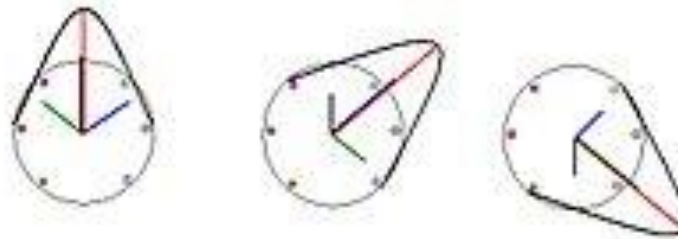


Figura 36. Tres posiciones del giro, con la distribución de potencia del campo resultante

Fuente: <http://cmagnetico.blogspot.com/2009/07/movimiento-electricidad-y-magnetismo.html>

Si cada grupo de bobinas tiene un número escaso de éstas, el campo magnético creado tendrá una onda de forma cuadrada. Para aproximarla a una sinodal lo que se hace es aumentar el número de bobinas en cada grupo (fase), y distribuir las lo máximo posible en el estator

Tabla 10. Revoluciones por minutos (RPM) dependiendo el número de polos

Polos	RPM a	
	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
14	428.6	514.3
16	375	450
18	333.3	400
20	300	360

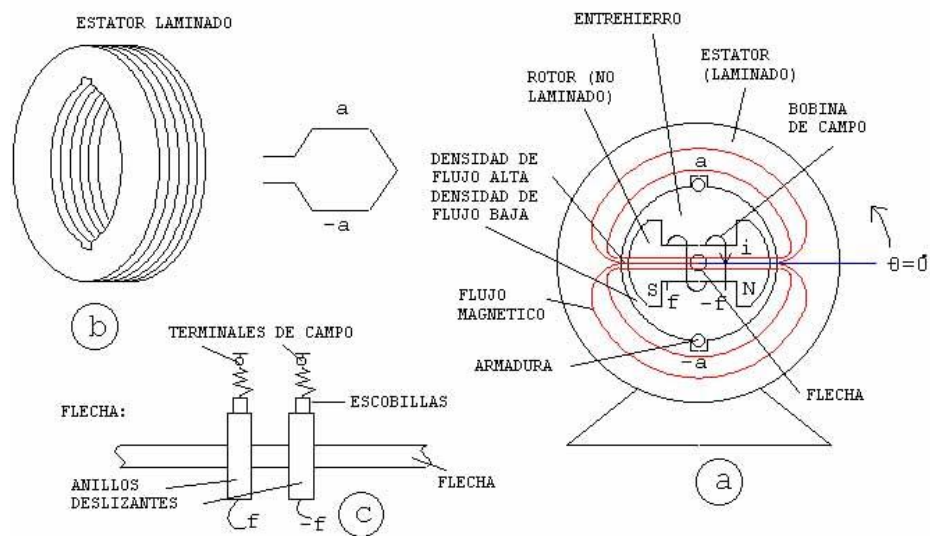


Figura 37. Campo magnético de un rotor y estator

Fuente: <http://www.proyectosfindecarrera.com/definicion/rotor-estator.htm>

5.6. CONTACTOR

Podemos definir un contactor como un aparato mecánico de conexión y desconexión eléctrica, accionado por cualquier forma de energía, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga.

Las energías utilizadas para accionar un contactor pueden ser muy diversas: mecánicas, magnéticas, neumáticas, fluídricas, etc. Los contactores corrientemente utilizados en la industria son accionados mediante la energía magnética proporcionada por una bobina, y a ellos nos referimos seguidamente.

Un contactor accionado por energía magnética, consta de un núcleo magnético y de una bobina capaz de generar un campo magnético suficientemente grande como para vencer la fuerza de los muelles antagonistas que mantienen separada del núcleo una pieza, también magnética, solidaria al dispositivo encargado de accionar los contactos eléctricos.

Así pues, característica importante de un contactor será la tensión a aplicar a la bobina de accionamiento, así como su intensidad ó potencia. Según sea el fabricante, dispondremos de una extensa gama de tensiones de accionamiento, tanto en continua como en alterna siendo las más comúnmente utilizadas, 24, 48, 220, y 380. La intensidad y potencia de la bobina, naturalmente dependen del tamaño del contador.

El tamaño de un contactor, depende de la intensidad que es capaz de establecer, soportar e interrumpir, así como del número de contactos de que dispone (normalmente cuatro). El tamaño del contactor también depende de la tensión máxima de trabajo que puede soportar, pero esta suele ser de 660 V. para los contactores de normal utilización en la industria.

Referente a la intensidad nominal de un contactor, sobre catálogo y según el fabricante, podremos observar contactores dentro de una extensa gama, generalmente comprendida entre 5 A y varios cientos de amperios. Esto equivale a decir que los contactores son capaces de controlar potencias dentro de un amplio margen; así, por ejemplo, un contactor para 25 A. conectado en una red bifásica de 380 V. es capaz de controlar receptores de hasta $380\sqrt{2} \cdot 25 = 9.500$ VA. y si es trifásica $3\sqrt{3} \cdot 220\sqrt{2} \cdot 25 = 16.454$ VA. Naturalmente nos referimos a receptores cuya carga sea puramente resistiva ($\cos \phi = 1$), ya que de lo contrario, las condiciones de trabajo de los contactos quedan notablemente modificadas.

Cuando el fabricante establece la corriente característica de un contactor, lo hace para cargas puramente óhmicas y con ella garantiza un determinado número de maniobras, pero si el $\cos \phi$ de la carga que se alimenta a través del contactor es menor que uno, el contactor ve reducida su vida como consecuencia de los efectos destructivos del arco eléctrico, que naturalmente aumentan a medida que disminuye el $\cos \phi$.

Por lo general, los contactores que utilizemos referirán sus características a las recomendaciones C. E. I (Comité Electrotécnico Internacional), que establecen los siguientes tipos de cargas:

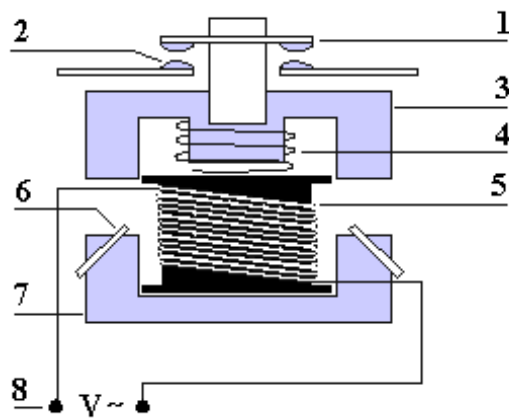
AC-1 Para cargas resistivas o débilmente inductivas $\cos \phi = 0,95$.

AC-2 Para cargas inductivas ($\cos \phi = 0.65$) .Arranque e inversión de marcha de motores de anillos rozantes.

AC-3 Para cargas fuertemente inductivas ($\cos \phi = 0.35$ a 0.65). Arranque y desconexión de motores de jaula.

AC-4 Para motores de jaula: Arranque, marcha a impulsos y frenado por inversión.

Prácticamente, la casi totalidad de las aplicaciones industriales, tales como máquinas-herramientas, equipos para minas, trenes de laminación, puentes-grúas, etc., precisan de la colaboración de gran número de motores para realizar una determinada operación, siendo conveniente que puedan ser controlados por un único operador situado en un "centro de control", desde donde sea posible observar y supervisar todas las partes de la instalación. Esta clase de trabajo no se puede realizar con interruptores o cualquier otro elemento de gobierno que precise de un mando manual directo, debido a que el operador no tendría tiempo material de accionar los circuitos que correspondiesen de acuerdo con las secuencias de trabajo. Estos y otros problemas similares pueden quedar solventados con el uso de contactores montados según un circuito de marcha-paro que denominaremos "función memoria" y que es base de los automatismos eléctricos.



- 1- Contactos móviles. 2 - Contactos fijos.
- 3- Hierro móvil. 4 - Muelle antagonista. 5 - Bobina.
- 6- Espira de sombra (en corriente alterna).
- 7- Hierro fijo. 8 - Alimentación bobina.

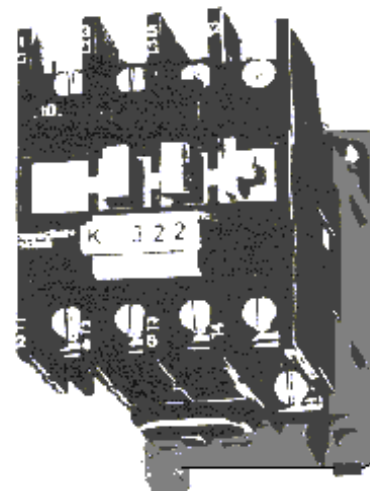


Figura 38. Partes del contactor

Fuente: <http://www.contactores/.aspx>

5.6.1. Partes del contactor

5.6.1.1. Carcaza

La carcaza es el elemento en el cual se fijan todos los componentes conductores del contactor, para lo cual es fabricada en un material no conductor con propiedades como la resistencia al calor, y un alto grado de rigidez. Uno de los más utilizados materiales es la fibra de vidrio pero tiene un inconveniente y es que este material es quebradizo y por lo tanto su manipulación es muy delicada. En caso de quebrarse alguno de los componentes no es recomendable el uso de pegantes.

5.6.1.2. Electroimán

También es denominado circuito electromagnético, y es el elemento motor del contactor.

Está compuesto por una serie de elementos cuya finalidad es transformar la energía eléctrica en un campo magnético muy intenso mediante el cual se produce un movimiento mecánico aprovechando las propiedades electromagnéticas de ciertos materiales:

5.6.1.3. Bobina

Consiste en un arrollamiento de alambre de cobre con unas características muy especiales con un gran número de espiras y de sección muy delgada para producir un campo magnético. El flujo magnético produce un par magnético que vence los pares resistentes de los muelles de manera que la armadura se puede juntar con el núcleo estrechamente.

5.6.1.3.1. Bobina energizada con CA.

Para el caso cuando una bobina se energiza con corriente alterna, se produce una corriente de magnitud muy alta puesto que solo se cuenta con la resistencia del conductor, ya que la reactancia inductiva de la bobina es muy baja debido al gran entrehierro que existe entre la armadura y el núcleo, esta corriente tiene factor de potencia por consiguiente alto, del orden de 0.8 a 0.9 y es llamada corriente de llamada.

Esta corriente elevada produce un campo magnético muy grande capaz de vencer el par ejercido por los muelles o resorte que los mantiene separados y de esta manera se cierra el circuito magnético uniéndose la armadura con el núcleo trayendo como consecuencia el aumento de la reactancia inductiva y así la disminución de hasta aproximadamente diez veces la corriente produciéndose entonces una corriente llamada **corriente de mantenimiento** con un factor de potencia más bajo pero capaz de mantener el circuito magnético cerrado.

Para que todo este procedimiento tenga éxito las bobinas deben ser dimensionadas para trabajar con las corrientes bajas de mantenimiento pues si no se acciona el mecanismo de cierre del circuito magnético la corriente de llamada circulará un tiempo más grande del previsto pudiendo así deteriorar la bobina.

5.6.1.3.2. Bobina energizada con CC.

En este caso no se presenta el fenómeno anterior puesto que las corrientes de llamada y de mantenimiento son iguales. La única resistencia presente es la resistencia de la bobina misma por lo cual las características y la construcción de estas bobinas son muy especiales.

La bobina puede ser energizada por la fuente de alimentación o por una fuente independiente.

5.6.1.4. El Núcleo

Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético con el fin de atraer la armadura eficientemente. Está construido de láminas de acero al silicio superpuestas y unidas firmemente unas con otras con el fin de evitar las corrientes parásitas.

El pequeño entrehierro entre la armadura y el núcleo se crea con el fin de eliminar los magnetismos remanentes.

Cuando circula una corriente alterna por la bobina es de suponerse que cuando la corriente pasa por el valor cero, el núcleo se separa de la armadura puesto que el flujo también es cero pero como esto sucede 120 veces en un segundo (si la frecuencia es de 60Hz) por lo cual en realidad no hay una verdadera separación pero esto sin embargo genera vibraciones y un zumbido además del aumento de la corriente de mantenimiento; por esto las bobinas que operan con corriente alterna poseen unos dispositivos llamados espiras de sombra las cuales producen un flujo magnético desfasado con el principal de manera que se obtiene un flujo continuo similar al producido por una corriente continua.

5.6.1.5. Armadura

Es un elemento móvil muy parecido al núcleo pero no posee espiras de sombra, su función es la de cerrar el circuito magnético ya que en estado de

reposo se encuentra separada del núcleo. Este espacio de separación se denomina **entrehierro o cota de llamada**.

Tanto el cierre como la apertura del circuito magnético suceden en un espacio de tiempo muy corto (10 milisegundos aproximadamente), todo debido a las características del muelle, por esto se pueden presentar dos situaciones.

- Cuando el par resistente es mayor que el par electromagnético, no se logra atraer la armadura.
- Si el par resistente es débil no se lograra la separación rápida de la armadura.

Cada una de las acciones de energizar o des energizar la bobina y por consiguiente la atracción o separación de la armadura, es utilizada para accionar los contactos que obran como interruptores, permitiendo o interrumpiendo el paso de la corriente. Estos contactos están unidos mecánicamente (son solidarios) pero son separados eléctricamente.

5.6.1.6. Contactos

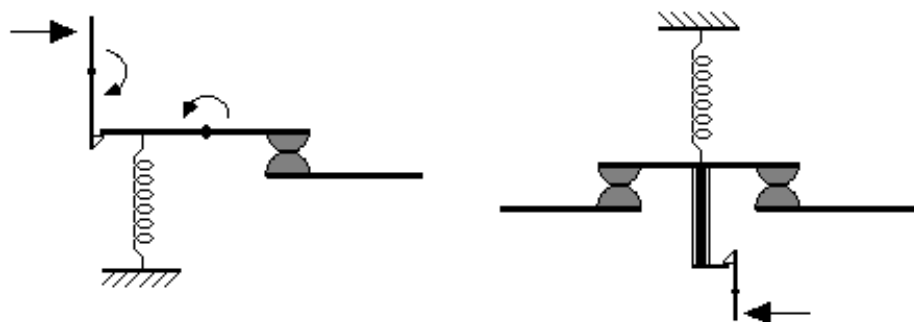


Figura 39. Funcionamiento de contactos que permiten o interrumpen el paso de corriente

Fuente: <http://www.contactores.conductores.es/>.aspx

El objeto de estos elementos es permitir o interrumpir el paso de la corriente, son elementos conductores, los cuales se accionan tan pronto se energiza o se desenergiza la bobina por lo que se les denomina contactos instantáneos. Esta función la cumplen tanto en el circuito de potencia como en el circuito de mando.

Los contactos están compuestos por tres partes dos de las cuales son fijas y se encuentran ubicadas en la carcasa y una parte móvil que une estas dos y posee un resorte para garantizar el contacto.

Las partes que entran en contacto deben tener unas características especiales puesto que al ser accionados bajo carga, se presenta un arco eléctrico el cual es proporcional a la corriente que demanda la carga, estos arcos producen sustancias que deterioran los contactos pues traen como consecuencia la corrosión, también las características mecánicas de estos elementos son muy importantes.

5.6.1.6.1. Contactos principales

Son los encargados de permitir o interrumpir el paso de la corriente en el circuito principal, es decir que actúa sobre la corriente que fluye de la fuente hacia la carga.

Es recomendable estar verificando la separación de estos que permiten que las partes fijas y móviles se junten antes de que el circuito magnético se cierre completamente, esta distancia se le denomina cota de presión. Esta no debe superar el 50%.

En caso de cambio de los contactos se tienen las siguientes recomendaciones:

- Cambiar todos los contactos y no solamente el dañado.
- Alinear los contactos respetando la cota inicial de presión.
- Verificar la presión de cada contacto con el contactor en funcionamiento.
- Verificar que todos los tornillos y tuercas se encuentren bien apretados.

Debido a que operan bajo carga, es determinante poder extinguir el arco que se produce puesto que esto deteriora el dispositivo ya que produce temperaturas extremadamente altas, para esto, los contactos se encuentran instalados dentro de la llamada cámara apagachispas, este objetivo se logra mediante diferentes mecanismos.

Soplado por auto-ventilación: Este dispositivo consiste en dos aberturas, una grande y una pequeña, al calentarse el aire, este sale por la abertura pequeña entrando aire fresco por la abertura grande y este movimiento de aire hace que se extinga la chispa.

Cámaras desionizadoras: Estas cámaras consisten en un recubrimiento metálico que actúa como un disipador de calor y por esto el aire no alcanza la temperatura de ionización. Este método suele acompañarse por el soplado por auto-ventilación.

Transferencia y fraccionamiento del arco: Consiste en dividir la chispa que se produce de manera que es más fácil extinguir chispas más pequeñas. Esto se realiza mediante guías en los contactos fijos.

Soplo magnético: Este método emplea un campo magnético que atrae la chispa hacia arriba de la cámara aumentando de esta manera la resistencia.

Este método suele ir acompañado del soplado por auto-ventilación y debe realizarse en un tiempo no muy largo pero tampoco extremadamente corto.

5.6.1.6.2. Contactos secundarios

Estos contactos secundarios se encuentran dimensionados para corrientes muy pequeñas porque estos actúan sobre la corriente que alimenta la bobina del contactor o sobre elementos de señalización.

Dado que en ocasiones deben trabajar con los PLC estos contactos deben tener una confiabilidad muy alta.

Gran parte de la versatilidad de los contactores depende del correcto uso y funcionamiento de los contactos auxiliares. Normalmente los contactos auxiliares son:

Instantáneos: Actúan tan pronto se energiza la bobina del contactor.

De apertura lenta: La velocidad y el desplazamiento del contacto móvil es igual al de la armadura.

De apertura positiva: Los contactos abiertos y cerrados no pueden coincidir cerrados en ningún momento.

Sin embargo se encuentran contactores auxiliares con adelanto al cierre o a la apertura y con retraso al cierre o a la apertura. Estos contactos actúan algunos milisegundos antes o después que los contactos instantáneos. Existen dos clases de contactos auxiliares:

Contacto normalmente abierto: (NA o NO), llamado también contacto instantáneo de cierre: contacto cuya función es cerrar un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor. En estado de reposo se encuentra abierto.

Contacto normalmente cerrado: (NC), llamado también contacto instantáneo de apertura, contacto cuya función es abrir un circuito, tan pronto se energice la bobina del contactor. En estado de reposo se encuentra cerrado.

5.6.2. Funcionamiento del Contactor

Cuando la bobina se energiza genera un campo magnético intenso, de manera que el núcleo atrae a la armadura, con un movimiento muy rápido. Con este movimiento todos los contactos del contactor, principales y auxiliares, cambian inmediatamente y de forma solidaria de estado.

Existen dos consideraciones que debemos tener en cuenta en cuanto a las características de los contactores:

Poder de cierre: Valor de la corriente independientemente de la tensión, que un contactor puede establecer en forma satisfactoria y sin peligro que sus contactos se suelden.

Poder de corte: Valor de la corriente que el contactor puede cortar, sin riesgo de daño de los contactos y de los aislantes de la cámara apagachispas. La corriente es más débil en cuanto más grande es la tensión.

Para que los contactos vuelvan a su posición anterior es necesario desenergizar la bobina. Durante esta desenergización o desconexión de la bobina (carga inductiva) se producen sobre-tensiones de alta frecuencia, que pueden producir interferencias en los aparatos electrónicos.

Desde el punto de vista del funcionamiento del contactor las bobinas tienen la mayor importancia y en cuanto a las aplicaciones los contactos tienen la mayor importancia.

5.6.3. Clasificación de los Contactores

Los contactores se pueden clasificar de acuerdo con:

5.6.3.1. Por su construcción

- **Contactores electromecánicos:** Son aquellos ya descritos que funcionan de acuerdo a principios eléctricos, mecánicos y magnéticos.
- **Contactores estáticos o de estado sólido:** Estos contactores se construyen a base de tiristores. Estos presentan algunos inconvenientes como:
 - Su dimensionamiento debe ser muy superior a lo necesario.
 - La potencia disipada es muy grande (30 veces superior).
 - Son muy sensibles a los parásitos internos y tiene una corriente de fuga importante.
 - Su costo es muy superior al de un contactor electromecánico equivalente.

5.6.3.2. Por el tipo de corriente eléctrica que alimenta la bobina.

- Contactores para AC.
- Contactores para DC.
- Por los contactos que tiene.

- Contactores principales.
- Contactores auxiliares.

5.6.3.3. Por la carga que pueden maniobrar (categoría de empleo).

Tiene que ver con la corriente que debe maniobrar el contactor bajo carga.

5.6.4. Categoría de empleo

Para establecer la categoría de empleo se tiene en cuenta el tipo de carga controlada y las condiciones en las cuales se efectúan los cortes.

Las categorías más usadas en AC son:

- AC1: Cargas no inductivas (resistencias, distribución) o débilmente inductivas, cuyo factor de potencia sea por lo menos 0.95.
- AC2: Se refiere al arranque, al frenado en contracorriente y a la marcha por impulso permanente de los motores de anillos.

Al cierre el contactor establece el paso de corrientes de arranque equivalentes a más o menos 2.5 la corriente nominal del motor. A la apertura el contactor debe cortar la intensidad de arranque, con una tensión inferior o igual a la tensión de la red.

- AC3: Para el control de motores jaula de ardilla (motores de rotor en cortocircuito) que se apagan a plena marcha.

Al cierre se produce el paso de corrientes de arranque, con intensidades equivalentes a 5 o más veces la corriente nominal del motor. A la apertura corta el paso de corrientes equivalentes a la corriente nominal absorbida por el motor. Es un corte relativamente fácil.

- AC4: Se refiere al arranque, al frenado en contracorriente y a la marcha por impulso permanente de los motores de jaula.

Al cierre se produce el paso de la corriente de arranque, con intensidades equivalentes a 5 o más veces la corriente nominal del motor. Su apertura provoca el corte de la corriente nominal a una tensión, tanto mayor como tanto mayor es la velocidad del motor. Esta tensión puede ser igual a la tensión de la red. El corte es severo.

En corriente continua se encuentran cinco categorías de empleo: DC1, DC2, DC3, DC4 y DC5.

Un mismo contactor dependiendo de la categoría de empleo, puede usarse con diferentes corrientes.

5.6.5. Criterios para la elección de un Contactador

Para elegir el contactor que más se ajusta a nuestras necesidades, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- Tipo de corriente, tensión de alimentación de la bobina y la frecuencia.
- Potencia nominal de la carga.
- Condiciones de servicio: ligera, normal, dura, extrema. Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte.

- Si es para el circuito de potencia o de mando y el número de contactos auxiliares que necesita.
- Para trabajos silenciosos o con frecuencias de maniobra muy altas es recomendable el uso de contactores estáticos o de estado sólido.
- Por la categoría de empleo.

5.6.6. Ventajas del uso de los Contactores

Los contactores presentan ventajas en cuanto a los siguientes aspectos y por los cuales es recomendable su utilización.

- Automatización en el arranque y paro de motores.
- Posibilidad de controlar completamente una máquina, desde varios puntos de maniobra o estaciones.
- Se pueden maniobrar circuitos sometidos a corrientes muy altas, mediante corrientes muy pequeñas.
- Seguridad del personal, dado que las maniobras se realizan desde lugares alejados del motor u otro tipo de carga, y las corrientes y tensiones que se manipulan con los aparatos de mando son o pueden ser pequeños.
- Control y automatización de equipos y máquinas con procesos complejos, mediante la ayuda de los aparatos auxiliares de mando, como interruptores de posición, detectores inductivos, presóstatos, temporizadores, etc.
- Ahorro de tiempo al realizar maniobras prolongadas.

5.6.7. Breakers (Interruptores Automáticos)

Multi9 (Uso para distribución final y alimentación de la carga) - montaje en riel Dim simétrico



Figura 40. Interruptores de baja tensión

Fuente: <http://www.interruptores.es/.aspx>

El interruptor automático C60 es conocido en más de 100 países por su calidad y la amplitud de su gama, lo que hace de él un componente indispensable para el desarrollo de las instalaciones de baja tensión con una total tranquilidad.

Corriente nominal: de 1 a 63 A

Amplia selección de capacidades de corte y curvas de disparo: B,C,D.
Cumplimiento de las normas: IEC EN 60898 o IEC 60947-2 en función de la versión, certificado por las autoridades oficiales nacionales
Adecuado para aislamiento según las normas industriales: IEC60947
Tensión de funcionamiento: hasta 440 V CA, tensión de aislamiento: 500 V
Módulos de fugas de tierra adicionales opcionales: Vigi C60
Auxiliares opcionales: indicación de estado y disparo, disparo de emisión, disparo de subtensión, disparo de sobretensión.

CAPITULO 6

REGULADOR DE ENERGÍA REACTIVA RTR

6.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Los reguladores de energía reactiva tipo computer- 6m/ 12m miden el $\cos \varphi$ de red y regulan la conexión y desconexión de condensadores para corregirlo. Entre los modelos existentes encontramos el computer 6m y el computer 12m, diferenciándose entre ellos por el número de salidas de relé capaces de controlar.



Figura 41. Regulador RTR

Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

Tabla 11. Números de relé

TIPO	Nº máximo de salidas
Computer 6m	6 salidas de relé
Computer 12m	12 salidas de relé

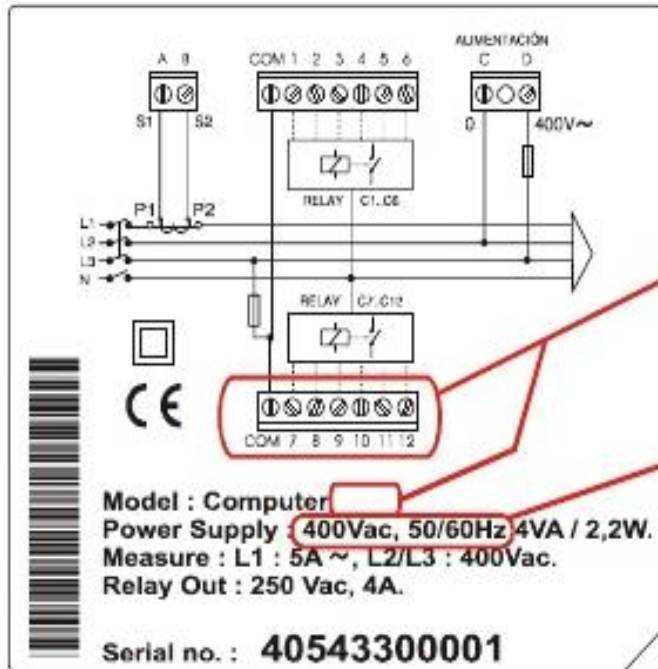
Entre las prestaciones más importantes destacan:

- Sistema FCP que minimiza en número de conexiones y desconexiones de los condensadores.
- Regulador de 6 y de 12 relés según tipo.
- Señalización de los pasos conectados, indicación digital del $\cos \varphi$ y distinción del signo de la potencia reactiva L(inductivo) y C (capacitivo).
- Display LCD de TRES dígitos de siete segmentos.
- Configuración de parámetros sin necesidad de desconectar la alimentación del regulador.
- Posibilidad de configurar el regulador aun estando este en proceso de regulación de condensadores.
- Posibilidad de empleo a frecuencias de 50 ó 60 Hz indistintamente.
- Visualización de la totalidad de medidas a través de un único display.
- Fácil fijación sin necesidad de utilizar herramientas.
- Programación desde el teclado, en parte frontal (3 teclas).
- Tamaño según DIN 43 700 de 144 x 144 mm
- Medida y alimentación en una sola entrada.

6.1.1. COMPROBACIÓN A LA RECEPCIÓN DEL REGULADOR

Al recibir el regulador compruebe que:

- El equipo no ha sufrido desperfectos en el transporte.
- El tipo suministrado concuerda con el solicitado.
- Verificación de la etiqueta posterior del regulador.



Indicación del número de salidas relé según tipo.

Computer 6m: 6 relés

Computer 12m: 12 relés

Figura 42. Indicación de la tensión de alimentación y frecuencia de trabajo

Fuente: Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

- La tensión de empleo del equipo suministrado corresponde a la tensión de red donde el regulador debe ser instalado.
- Siga las instrucciones del apartado 3 para el resto de la instalación y puesta a punto.
- Si observa alguna anomalía contacte con el servicio comercial de CIRCUTOR, SA

6.2. DESCRIPCIÓN GENERAL

El regulador dispone en la parte frontal, las siguientes señalizaciones:

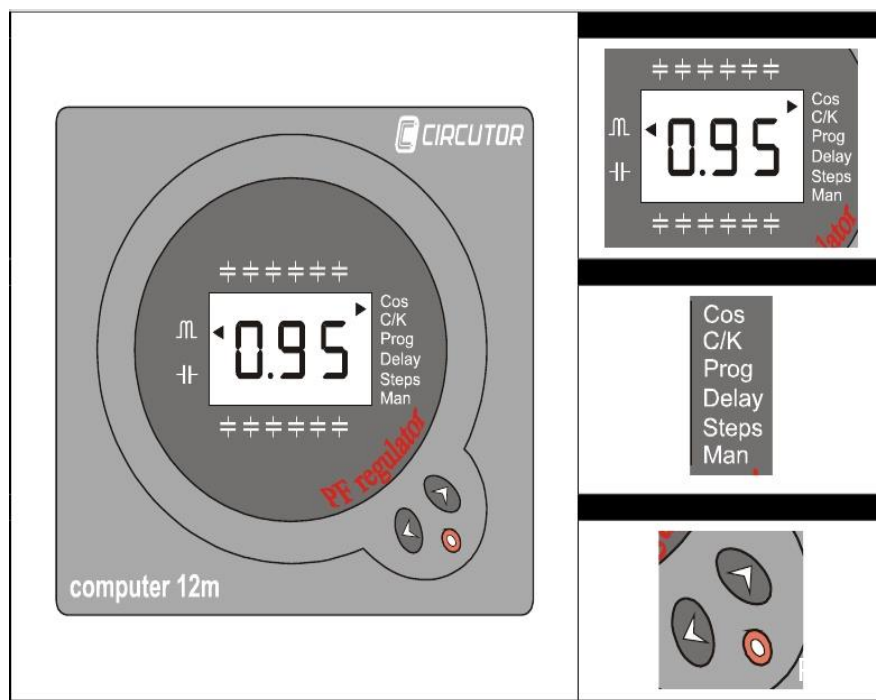


Figura 43. Display pidiendo compensación de los bancos

Fuente: Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

NOTA: El modo de configuración y la función de los parámetros, se describe detalladamente en el apartado de SETUP

6.2.1. DISPLAY

El Display del regulador es de tipo LCD de 3 dígitos y siete segmentos. Tiene además una serie de iconos que dan información del estado del regulador, tales como indicación del valor del $\cos\phi$, valor del ϕ y señalización de los pasos conectados.



Figura 44. Display de indicador de pasos conectados

Fuente: Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

Visualización de mensajes de alarma: En el caso de que el equipo detecte un error, por el display se visualiza un código que indica el error detectado. Las alarmas que se presentan son:

Mensaje

Descripción

000

Corriente de carga inferior al mínimo o transformador de corriente no conectado (Corriente mínima de medida 0,1 A)

E.01

Conexión errónea del transformador de corriente (S1-S2 invertidos o colocación en fase equivocada.)

E.02

Sobrecompensación. Se requiere desconexión y los relés están desconectados.

E.03

Subcompensación. Se requiere conexión y todos los relés están conectados.

6.2.2. TECLAS DE NAVEGACIÓN



Las teclas de navegación tienen diferentes funciones según el modo de trabajo en el que se encuentre el regulador. Los modos de trabajo son:

Modo Normal: Es el modo en el que el regulador mide el $\cos \varphi$ y regula la conexión y desconexión de condensadores para corregirlo.

Modo de Programación: Es el modo en el que se nos permite configurar los parámetros del regulador.

Funciones de las teclas en los distintos modos.

Tabla 12. Modo normal de funcionamiento







	Tecla para entrar en modo configuración: Pulsación larga (más de 1s): Entrar en modo de programación.
	Conexión manual de condensadores Pulsación larga (más de 1s) el regulador conecta los pasos de manera secuencial.
	Desconexión manual de condensadores Pulsación larga (más de 1s) el regulador desconecta los pasos de manera secuencial.

Tabla 13. Modo de programación

	<p>Pulsación larga (más de 1s): salir modo programación y guardar parámetros configurados.</p> <p>Pulsación corta: Entramos/Salimos (guardando el valor configurado) de la configuración del parámetro.</p>
	<p>Navegación ascendente por el menú de parámetros.</p> <p>Incremento de los dígitos en el momento de configuración de los parámetros.</p>
	<p>Navegación descendente por el menú de parámetros.</p> <p>Decremento de los dígitos en el momento de configuración de los parámetros.</p> <p>Cambio de dígito a configurar. (Parámetro dispone de más de 2 dígitos).</p>

6.3. INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA

El presente manual contiene informaciones y advertencias que el usuario debe respetar y mantener un funcionamiento seguro y buen estado del aparato.

Si se utiliza el equipo de forma no especificada por el fabricante, la protección del equipo **puede resultar comprometida**.

Cuando se detecten señales de deterioro del aparato o se observe un funcionamiento erróneo, debe desconectarse la alimentación del equipo. En este caso póngase en contacto con un representante deservicio cualificado.

Para la utilización segura del regulador **computer 6m o computer 12m** es fundamental que las personas que lo instalen o manipulen sigan las medidas de seguridad habitual, así como las distintas advertencias indicadas en el manual de instrucciones.

6.3.1. Instalación del equipo

Antes de la puesta en tensión del equipo, debe comprobarse los siguientes puntos:

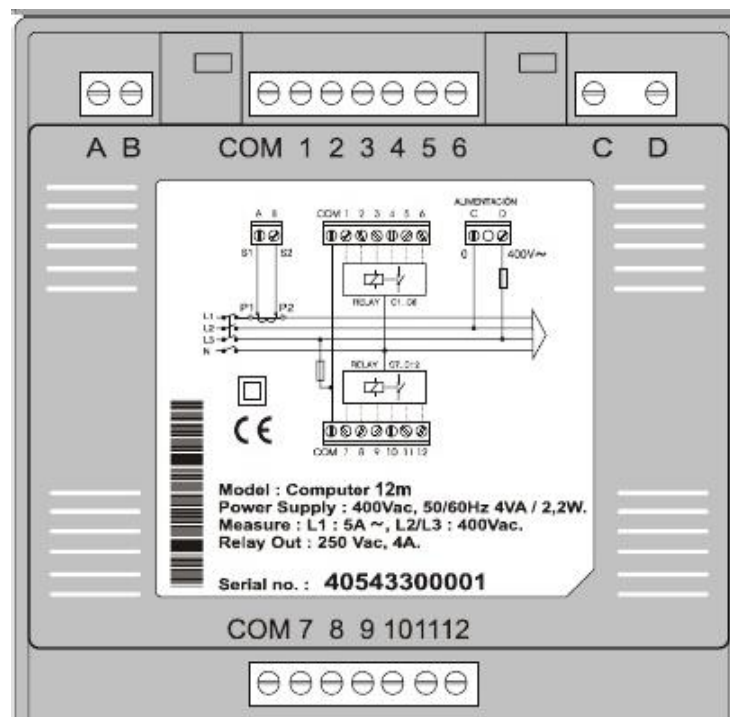


Figura 45. Diagrama de conexión exterior

Fuente: Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

Tensión de alimentación: (ver parte posterior de su computer 6m o computer 12m)

Se tienen que conectar los bornes C y D entre fases a 110, 230, 400 ó 480 V c.a. (según tipo).

- Frecuencia : 45 ... 65 Hz
- Tolerancia alimentación : + 15 % / --15 %
- Bornes conexión : C - D
- Consumo del equipo :

Computer 6m: 3 V.A / 1,8 W (sin relés conectados) ; 5,5 V.A / 4,5 W (6 relés conectados)

Computer 12m: 4 V.A / 2,2 W (sin relés conectados) ; 8,5 V.A / 7,6 W (12 relés conectados)

Medición corriente:

- Transformador de In / 5 A c.a.
- Bornes conexión A y B.

Condiciones de trabajo:

- Temperatura de funcionamiento : - 10 °C / + 50 °C
- Humedad de funcionamiento : 25 a 80 % HR (sin condensación)

Seguridad:

Categoría de instalación III , según EN 61010.

- Protección contra choque eléctrico por doble aislamiento (equipo clase II)

6.3.2. Instrucciones de conexión



Para la utilización segura del regulador computer 6m y computer 12m es fundamental que las personas que lo instalen o manipulen sigan las medidas de seguridad habitual, así como las distintas advertencias indicadas en dicho manual de instrucciones. En particular tenga en cuenta que los condensadores pueden estar cargados y pueden causar descargas incluso después de quitar la

tensión. Debe asegurarse que los condensadores han tenido tiempo de descargarse.

6.3.2.1. CONEXIONES

La instalación del equipo se realiza en panel (taladro panel 138+1x 138+1mm, según DIN 43 700).



Todas las conexiones quedan en el interior del cuadro eléctrico.

Tener en cuenta que con el equipo conectado, los bornes pueden ser peligrosos al tacto, y la apertura de cubiertas o eliminación de elementos puede dar acceso a partes peligrosas al tacto. El equipo no debe ser utilizado hasta que haya finalizado por completo su instalación.



El equipo debe conectarse a un circuito de alimentación protegido con fusibles tipo gI (IEC 269) o tipo M (CEI 127), comprendido entre 0.5 y 2 A. Debe preverse un interruptor magneto térmico (I/O) o dispositivo equivalente para conectar (ON) y desconectar (OFF) el equipo de la red de alimentación. Debe instalarse próximo al equipo y ser fácilmente accesible. El circuito de alimentación de tensión así como las conexiones de los distintos relés se conecta con cable de sección 1,5 mm². La línea del secundario del transformador de corriente debe ser de 2,5 mm² de sección, como mínimo.

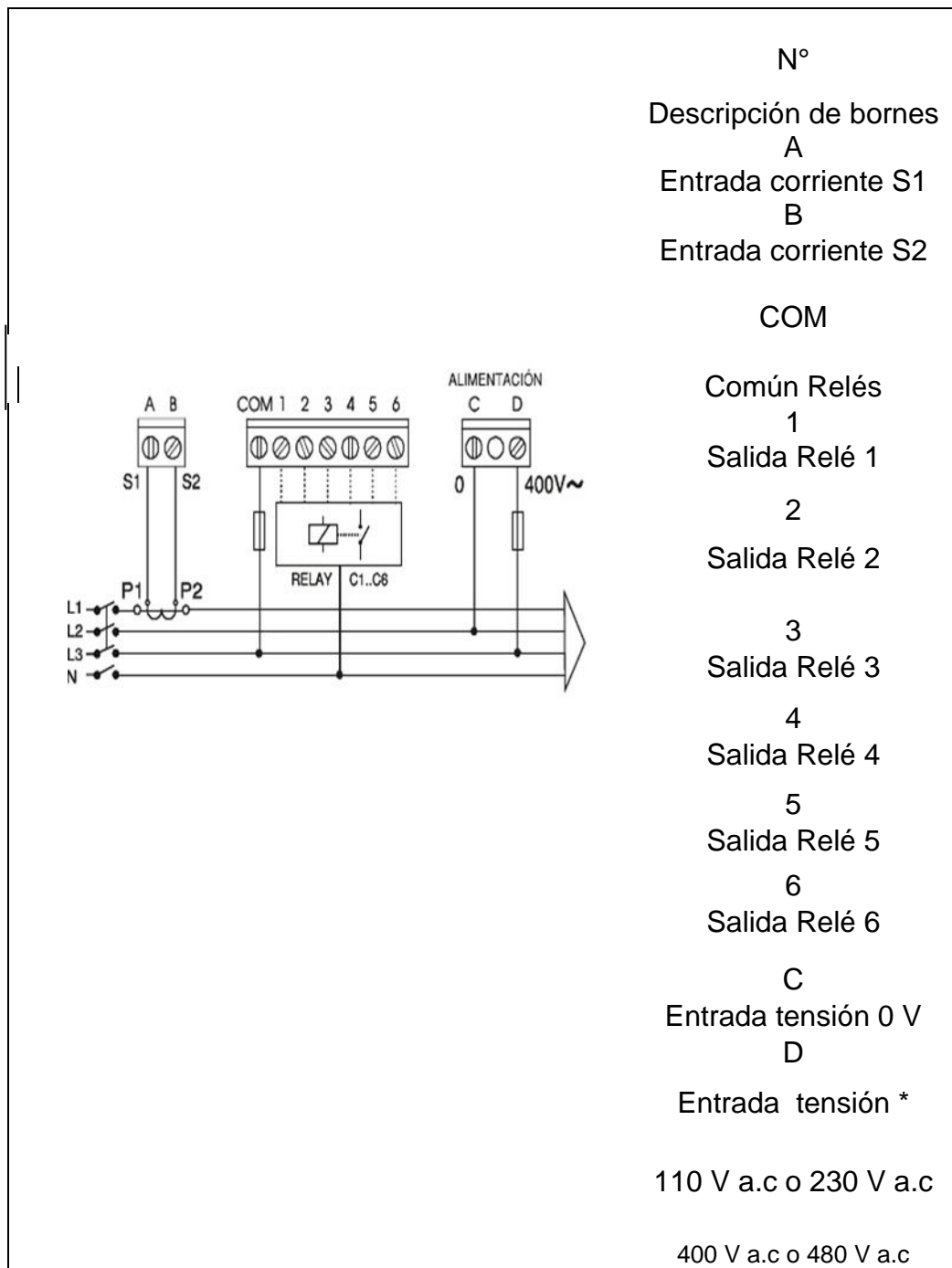


Figura 46. Diagrama de conexión de 6 relés

Fuente: Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

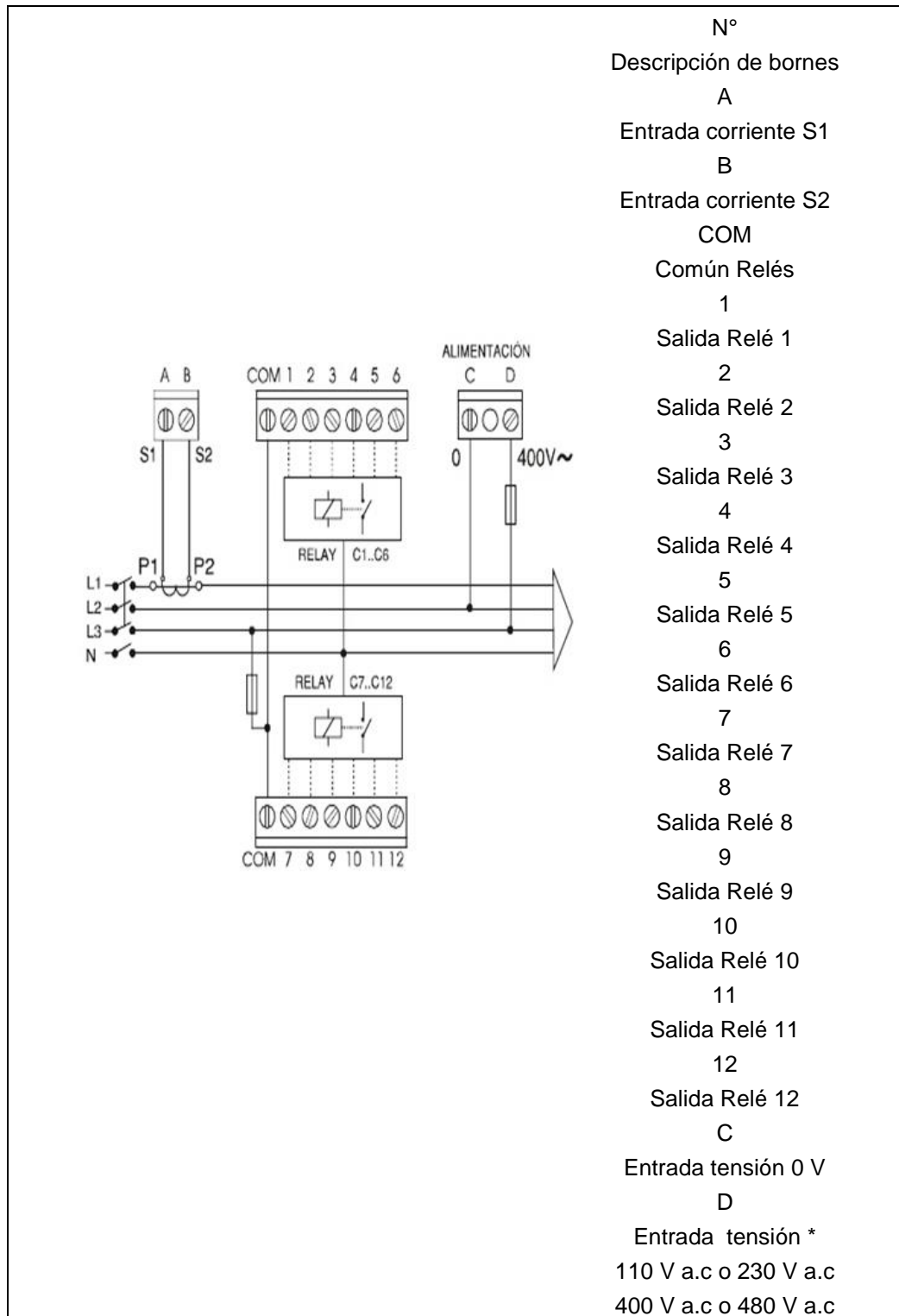


Figura 47. Diagrama de conexión de 12 bornes exterior

Fuente: Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

Para la conexión del regulador, realizarlo según el esquema de conexión de la parte posterior del regulador. Para ello tener en cuenta los siguientes puntos:

- Para la puesta en marcha es necesario la instalación de un transformador de intensidad (normalmente $I_n / 5 A$) de acuerdo a la intensidad total de los receptores instalados. La línea del secundario del transformador de intensidad será de la sección adecuada, en función de la distancia de éste al regulador. (mínimo 2.5 mm^2)
- La tensión de alimentación del regulador se realiza entre fases (excepto cuando se trata de un regulador especial monofásico). Debe tomarse la tensión de las dos fases donde no hay transformador de corriente. La fase donde está instalado el transformador de intensidad **no tiene que coincidir** con ninguna de las fases de las que se toma tensión para la alimentación del regulador.
- El transformador de intensidad se instalará en un punto de la acometida por el que circule la totalidad de la intensidad de las cargas que se desee compensar más la intensidad propia de los condensadores

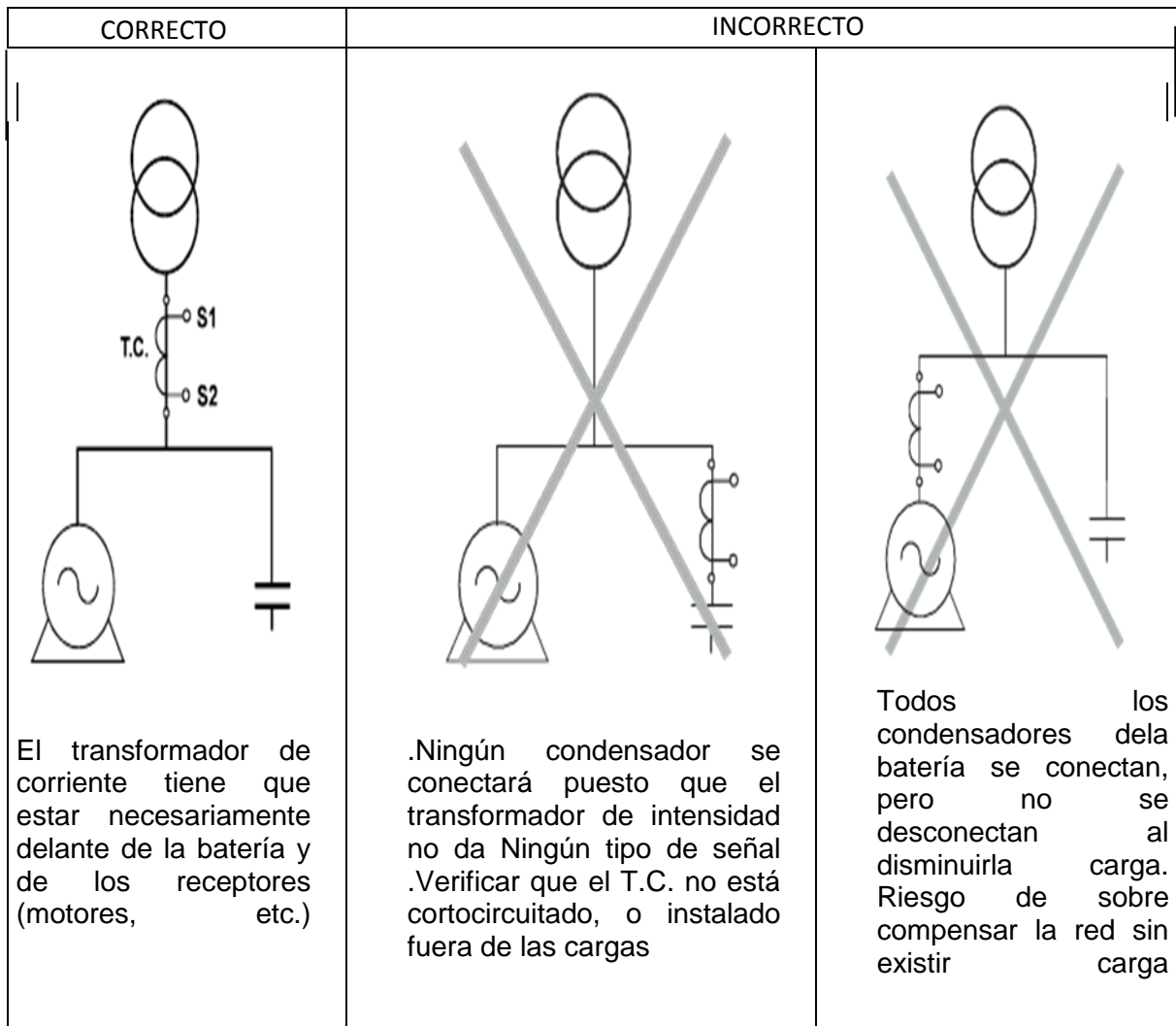


Figura 47. Diagrama de conexión de 12 bornes exterior

Fuente: Fuente: <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

Conectar el secundario del transformador de intensidad (S1-S2) en los bornes señalizados S1-S2 (1 y 2) . Si por el display aparece un valor de cos que no es coherente indica que la sucesión de fases no es correcta: invertir la conexión de las fases de tensión del regulador (o sino invertir S1-S2 del secundario del transformador de intensidad).


Tabla 14. Características técnicas del RTR

Tensión de Alimentación (bornes C-D)	110 VAC o 230 VAC o 400 VAC o 480 VAC *+15% -10% ; 45-65 Hz
Medida de tensión (bornes C-D)	Conectar a fases L2 y L3
Rango de medida de tensión	110 VAC o 230 VAC o 400 VAC o 480 VAC *+ 15 % / - 10 %
Precisión de la medida de tensión	1%
Circuito de medida de corriente	Transformador de corriente (TC), $I_n / 5$
Conexión del TC	Fase 1 , IL1
Rango de medida de corriente (IL1)	0,1 a 5 A (máx. +20%)
Precisión de la medida de corriente	1%
Precisión de la medida cos	2% 1 dígito
Margen de frecuencia , V(C-D)	45 - 65Hz
Consumo: computer 6m	3 V.A / 1,8 W (sin relés) ; 5,5 V.A / 4,5 W (6 relés conect.)
Computer 12m	4 V.A / 2,2 W (sin relés) / 8,5 V.A / 7,6 W (12 relés conect.)
Display	1 líneax3 dígitos x7segmentos +20 iconos
Salida	Relés. Máx. 250 V, 4 A AC1
Normas	EN 61010, EN 61000-3-2, EN 61000-3-3, EN 50081-2,EN 50082-1, EN 50082-2,EN 61000-4-2, EN 61000-4-4,EN 61000-4-8, EN 61000-4-5, EN 61000-4-11 , UL 94
Seguridad/Aislamiento	Según EN 61010-1, Categoría III, Ambiente 2
Grado de protección	IP 30 (equipo sin montar) según EN60529 IP 21 (equipo montado, frontal)
Sistema de control	FCP(Programa con mínimo de maniobras)
Dimensiones	144 x 144 x 62 mm
Peso	0,538 kg

6.4. PROGRAMACIÓN DEL REGULADOR

A través del modo de programación podemos configurar los siguientes parámetros.

Tabla 15. Programación del Regulador

	Parámetro	Descripción
	▶ Cos	Consigna del $\cos \varphi$ (0.85 Ind – 0.95 Cap)
	▶ C/K	Consigna del C / K (0.02-1.00)
	▶ Prog	Programa de trabajo: 1.1.1.1.1/1.2.2.2/1.2.4.4.4/1.1.2.2.2/1.2.4.8.8
	▶ Delay	Tiempo de conexión del condensador (4 a 999 s.)
	▶ Steps	computer 6m: hasta 6 relés computer 12m: hasta 12 relés

El icono ▶ , nos indica el parámetro seleccionado

Cos φ :

Podemos configurar entre los valores 0.85 Inductivo y 0.95 Capacitivo

C / K:

Se programa la intensidad del primer condensador de la batería dividida por la relación del transformador de corriente (ver ejemplo 6.4.2)

Prog:

(Selección del programa de conexión)

Los programas previstos de conexión del condensador son los siguientes:

programa 1: 1.1.1.1.1

programa 2: 1.2.2.2.2

programa 3: 1.2.4.4.4

programa 4: 1.2.4.8.8

programa 5: 1.1.2.2.2

Delay:

Regula el tiempo entre conexión y desconexión de condensadores T_c y el tiempo de reconexión después de que un condensador ha desconectado T_r . (T_r es siempre $5 \cdot T_c$)

Tiempo de conexión de los condensadores: de 4 s a 999 s.



Tiempo de descarga de los condensadores (tiempo de seguridad): de 20 s a 999 s.

Steps:

Permite programar el número de salidas de relé que tendrá el regulador.

Según tipos podemos configurar hasta 6 o hasta 12 relés.



Tabla 16. Señales de ayuda:

Teclas	Función
	<p>Símbolo de intermitencia del display, indica qué parámetro estamos editando.</p> <p>Intermitencia del dígito, significa que podemos cambiar el valor de dicho dígito.</p>
	<p>Indica que se está forzando manualmente la conexión de los condensadores.</p> <p>Tan solo se podrá forzar la conexión de condensadores, cuando el regulador esté en modo normal de trabajo y no aparezca ningún tipo de mensaje de alarma.</p>

6.4.1. Secuencia de programación de parámetros.

Acceso al menú de programación

Para acceder al menú de la programación del equipo se deben seguir los siguientes pasos:

Con una pulsación larga (más de 1 s.) de la tecla de ajuste  , el equipo entra en modo ajuste (programación), siempre que todos los condensadores estén desconectados. En caso contrario se debe mantener pulsada la tecla  mientras se inicia una secuencia de desconexión. Una vez finalizada la secuencia del regulador da paso al menú de ajuste.

IMPORTANTE:

Estando dentro del menú de programación, si no se pulsa ninguna tecla durante 3 minutos el equipo sale del modo ajuste y pasa al modo normal ***sin guardar los parámetros configurados. Para salir del menú programación y guardar los parámetros configurados se debe pulsar la tecla de ajuste durante más de 1 s.***

6.4.2.1. Consigna del cos



El rango de $\cos \varphi$ va desde 0.85 L (Inductivo) y 0.95 C (Capacitivo), siempre valores positivos, ya que tan solo se contempla el sentido del consumo de la corriente. Normalmente dicho valor se ajustará a 1.0 (Potencia reactiva Inductiva = Potencia reactiva capacitiva de la batería).

6.4.2.2. Ajuste de la corriente reactiva C / K



Para que el regulador pueda trabajar correctamente hay que indicar la relación entre la corriente del primer condensador y el transformador de corriente instalado. Esto se realiza mediante el ajuste en el parámetro C / K

Este parámetro se ajusta mediante cálculo con la siguiente fórmula:

Relación del transformador $\frac{I_t}{K}$

Ajuste del mando de corriente reactiva

$$C/K \frac{I_c}{K} ;$$

$$I_c = \frac{Q}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Siendo: I_t = corriente nominal del transformador

I_c = corriente del primer condensador (relé 1)

Q, potencia reactiva del 1 condensador en Kvar.

U, tensión de alimentación fase-fase.

Ejemplo:

Relación del transformador:

$$\frac{500}{5} K \quad 100$$

Primer condensador: 60 kvar a 400 V

$$I_c = \frac{60.000}{1,73 \times 400} = 86,7A$$

Ajuste del mando de intensidad reactiva

$$C/K \frac{I_c}{K} \quad \frac{86,7}{100} = 0.867$$

Tabla 17. Ajustes característicos de C / K

Relación trafo (A)	Potencia en Kvar del primer escalón a 400 V																
	trafo I	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	20,0	25,0	30,0	37,5	40,0	50,0	60,0	75,0	80,0	
150/5		0,12	0,24	0,36	0,48	0,06	0,72	0,96									
200/5		0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,72	0,90								
250/5		0,07	0,14	0,22	0,29	0,36	0,43	0,58	0,72	0,87							
300/5		0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,48	0,60	0,72	0,90	0,96					
400/5		0,05	0,09	0,14	0,18	0,23	0,24	0,36	0,48	0,58	0,67	0,72	0,87				
500/5			0,07	0,12	0,14	0,18	0,22	0,29	0,36	0,45	0,54	0,54	0,72	0,87			
600/5			0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,24	0,30	0,36	0,45	0,48	0,60	0,72	0,90	0,96	
800/5				0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23	0,27	0,33	0,36	0,45	0,54	0,68	0,72	
1000/5				0,05	0,07	0,09	0,11	0,14	0,18	0,22	0,27	0,29	0,36	0,43	0,54	0,57	
1500/5					0,05	0,06	0,07	0,10	0,12	0,14	0,18	0,19	0,24	0,29	0,36	0,38	
2000/5							0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,18	0,22	0,27	0,28	
2500/5								0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,17	0,22	0,23	
3000/5									0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14	0,18	0,19
4000/5											0,05	0,06	0,07	0,09	0,11	0,14	0,14

IMPORTANTE:

- Si el ajuste C / K se deja bajo, se producirán conexiones y desconexiones continuamente con pocas variaciones de carga.
- Si el ajuste C / K se deja alto, se necesitará un consumo mayor para que entren los pasos. El regulador interpreta que tiene pasos de mayor potencia.

6.4.2.3. Selección tipo de maniobra



El programa de trabajo del regulador seleccionado dependerá de la potencia (kvar) de los distintos pasos de condensador que forman la batería.

Tabla 18. Programa de trabajo del regulador

Tipo maniobra	Descripción	Ejemplo: Composición batería (kvar)
1.1.1.1.1	Todos los condensadores de IGUAL potencia	20 + 20 + 20 + 20
1.2.2.2.2	El primer condensador es la mitad de potencia que el resto	20 + 40 + 40 + 40
1.2.4.4.4	Si el primer grupo es de una potencia, el 2º condensador es del doble potencia y el resto 4 veces	20 + 40 + 80 + 80
1.1.2.2.2	El 1er y 2º condensador es la mitad de potencia que el resto	20 + 20 + 40 + 40
1.2.4.8.8	Si el primer grupo es de una potencia, el 2º es del doble potencia, el 3º de 4 veces y el resto 8 veces	10 + 20 + 40 + 80

6.4.2.4. Delay: Programación tiempos de conexión y desconexión



El tiempo de retardo (T_r) de conexión /desconexión entre pasos puede ajustarse entre 4 y 999 segundos. El tiempo de seguridad entre la desconexión de un condensador y su reconexión (Dicho tiempo de seguridad es siempre 5 veces el tiempo de conexión TC) $T_s = 5 T_r$

Cuando se da tensión al regulador espera como mínimo el tiempo T_s en conectar el primer paso.

6.4.2.5. Steps: Programación del número de salidas del relé



Parámetro donde se programa el número de salidas que controla el regulador.

Según tipo podremos llegar hasta 6 ó 12 relés.

Tabla 19. Número máximo de salidas de relé

Tipo	Número máximo de salidas
Computer 6m	6 salidas de relé
Computer 12m	12 salidas de relé

6.5. CONSIGNAS DE SEGURIDAD

Se deben de tener en cuenta las normas de instalación que se describen en los apartados anteriores de INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA, FORMAS DE INSTALACION y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS del equipo.

Con el equipo conectado, los bornes pueden ser peligrosos al tacto, y la apertura de cubiertas o eliminación de elementos puede dar acceso a partes peligrosas al tacto. Este equipo se suministra en condiciones de buen funcionamiento.

6.6. MANTENIMIENTO

El regulador **computer 6m o computer 12m** no precisa un mantenimiento especial. Es preciso evitar en la medida de lo posible todo ajuste, mantenimiento o reparación con el equipo abierto, y si es ineludible deberá efectuarlo personal calificado bien informado de la operación a seguir.

Antes de efectuar cualquier operación de modificación de las conexiones, re-emplazamiento, mantenimiento o reparación, debe desconectarse el aparato de toda fuente de alimentación. Cuando se sospeche de un fallo de funcionamiento del equipo o en la protección del mismo debe dejarse el equipo fuera de servicio, asegurándose contra cualquier conexión accidental. El diseño del equipo permite una substitución rápida del mismo en caso de avería.

CAPÍTULO 7

7.1. CONCLUSIONES

En la instalación de banco de condensadores en un tablero didáctico como práctica a nivel académico de un motor de 0.5 HP se logra mejorar el factor de potencia y reducir las pérdidas de potencia y energía.

Se logra mejorar el factor de potencia que muestra la pantalla digital del Regulador de energía reactiva RTR sin compensación de 0.78 a un valor de corrección de factor de potencia de 0.99 con compensación de los bancos de condensadores.

Al instalar 3 bancos de condensadores, cada uno de ellos haciendo uso de 3 capacitores monofásicos de 7.5 microfaradio conectados en delta se logra llegar a un kVAr que es lo que se necesita para compensar el motor de 0.5 HP.

Pese a que la reducción de los desvíos de reactivo es mínima económicamente, es el factor que más beneficio nos trae para que el tablero didáctico del proyecto de compensación reactiva mediante la instalación de capacitores didácticos sea factible.

Los clientes industriales que tienen problema de bajo factor de potencia son aquellos de media o pequeñas demandas de energía, ya que las grandes industrias ya han realizado la instalación de condensadores dentro de su industria en baja tensión, para de esta manera evitar pagar grandes costos por penalización.

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda la instalación de condensadores en cada cliente industrial en baja tensión o comercial, de esta manera sus instalaciones eléctricas funcionarán de mejor manera y se evitará cancelar a la distribuidora la penalización por bajo factor de potencia.

A los estudiantes se les recomienda leer el catálogo de programación RTR antes de usar el equipo, ya que el aparato es muy sensible y así evitar mayores daños en el futuro.

Es recomendable que los estudiantes realicen prácticas con diferentes cargas de corriente, ya que así se podrá observar diferentes curvas en el osciloscopio.

Para obtener una mayor reducción en el pago de desvío de reactivos por parte de la distribuidora se debe realizar un estudio de pérdida a todos los alimentadores de la empresa que se encuentran con bajo factor de potencia.

Esta práctica nos sirve como guía para aplicarlas en un futuro en las grandes y pequeñas industrias.

BIBLIOGRAFÍA

- WEG . (Viernes de Abril de 2008). Obtenido de www.weg.com
- EPCOS BR 6000. (noviembre de 2009). Obtenido de www.Epcos.com
- ARRILLADA, J. E. (1994). Armonicos en Sistema de Potencia. Cantabria:Electra de Viesgo S.A.
- Dawes, C. .. (2006). Electricidad Industrial2. Barcelona- España: Reverté S.A.
- Donald G. Fink. (2009). Manual Práctico de Electricidad para ingenierosPráctica de Electricidad , 33-36.
- Fariña, A. (2010). Cables y conductores electricos. Alsina.
- Hasper, E. (2011). El ABC del control Electrónico de la maquinas, Eléctricas. Monterrey- Mexico: Limusa Noriega S.A.
- Siemens. (Mayo de 2010). Soluciones de red para PROFIBUS. Obtenido de www.automation.Siemens.com
- Stemac, G. G. (2008). Manual tecnico y de mantenimiento de generadores. Porto Alegre, Brasil. Obtenido de www.Stemac.com.br
- WILDI, T. d. (2007). Maquinas Eléctrica y Sistema de Potencias . Mexico.
- http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/index.php?id=1&id_sec=5
- <http://www.afinidadelctrica.com.ar/articulo.php?IdArticulo=15>
- http://www.unicrom.com/Tut_circuitoRC.asp
- http://www.unicrom.com/Tut_el_condensador_y_la_corrienteAC.asp
- <http://webs.uvigo.es/quintans/recursos/Web>
- <http://webs.uvigo.es/quintans/recursos/Web>
- <http://webs.uvigo.es/quintans/recursos/Web>

- <http://www.stilar.net/Archivos%20Web/Compensacion>
- <http://benedicto.ar.tripod.com/a%20Factor%20de%20potencia.htm>
- <http://gomyshop.info/hc/factor-de-potencia>
- <http://gomyshop.info/hc/factor-de-potencia>
- <http://profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=3>
- http://energytel.info/portal_telecom/articulos
- http://energytel.info/portal_telecom/articulos
- http://energytel.info/portal_telecom/articulos
- http://energytel.info/portal_telecom/articulos
- http://energytel.info/portal_telecom/articulos
- http://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_LC
- <http://elec.itmorelia.edu.mx/armonico/Capitulo%20V.htm>
- <http://www.todomonografias.com/electronica-y-electricidad/armonicos/>
- <http://jaimevp.tripod.com/Electricidad/armonico519.htm>
- http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/SANTA_FE/29/m_fun4.htm
- http://www.oni.escuelas.edu.ar/2001/cordoba/electronica/motores_el%C3%A9ctricos.htm
- http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico
- <http://www.nichese.com/rotor.html>
- <http://estajohana.blogspot.com/>
- <http://cmagnetico.blogspot.com/2009/07/movimiento-electricidad-y-magnetismo.html>
- <http://www.proyectosfindecarrera.com/definicion/rotor-estator.htm>
- <http://www.circutor.es/reactiva.aspx>

A N E X O S

ANEXOS

ANEXO 01. IMÁGENES DE DISEÑO DEL TABLERO DIDACTICO

ANEXO 02. PRACTICA DE FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DIDACTICO
DE CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA POR MEDIO
DE OSCILOSCOPIO

ANEXO 03. DIAGRAMA DE CONTROL RTR
DIAGRAMA DE ARRANQUE DIRECTO DE FUERZA Y CONTROL
DEL MOTOR

ANEXO 1

IMÁGENES DE DISEÑO DEL TABLERO DIDACTICO

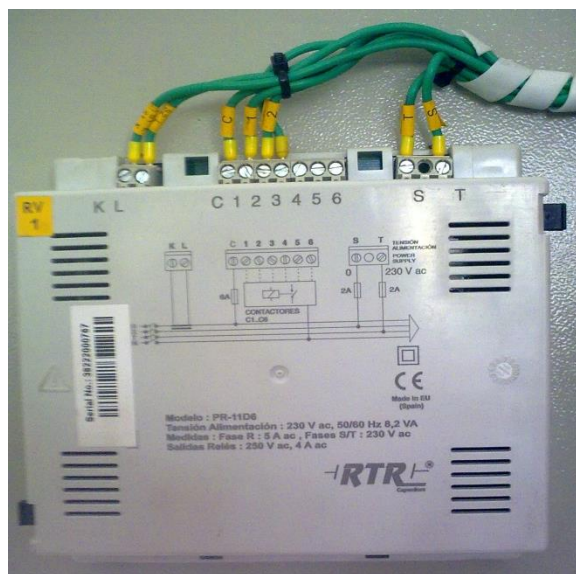
IMAGEN 1. PRESENTACIÓN DE TABLERO DIDACTICO



IMAGEN 2. INTERNO DE TABLERO DIDACTICO



IMAGEN 3. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL RTR DEL TABLERO DIDACTICO



**IMAGEN 4. TABLERO DIDACTICO EN PRACTICA DE
LABORATORIO DE ELECTRICIDAD**



ANEXO 2

PRACTICA DE FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DIDACTICO DE CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA POR MEDIO DE OSCILOSCOPIO

PRACTICA DE FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DIDACTICO DE CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA POR MEDIO DE OSCILOSCOPIO

Por medio de la práctica realizada en el laboratorio de Electricidad de la Facultad Técnica de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, haciendo uso de un osciloscopio digital se pudo verificar el comportamiento de las curvas senoidales con 5 parámetros diferentes de voltaje que se pueden visualizar en el monitor.

IMAGEN 5 Y 6. Forma de la onda senoidal sin encender el motor: En esta imagen se observa la distorsión de la onda.

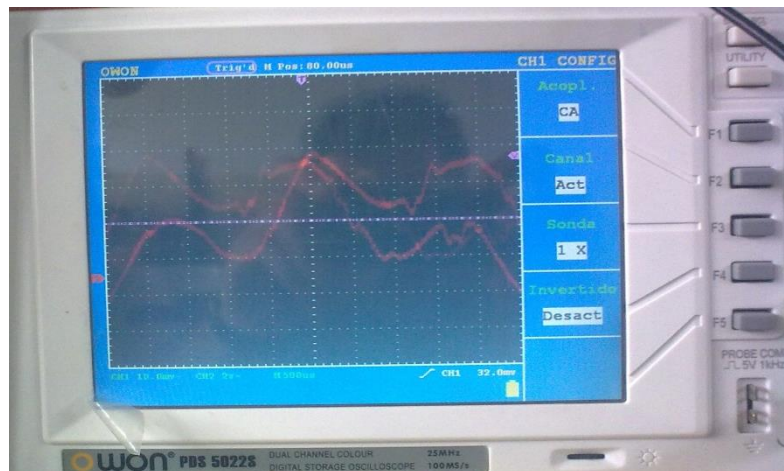
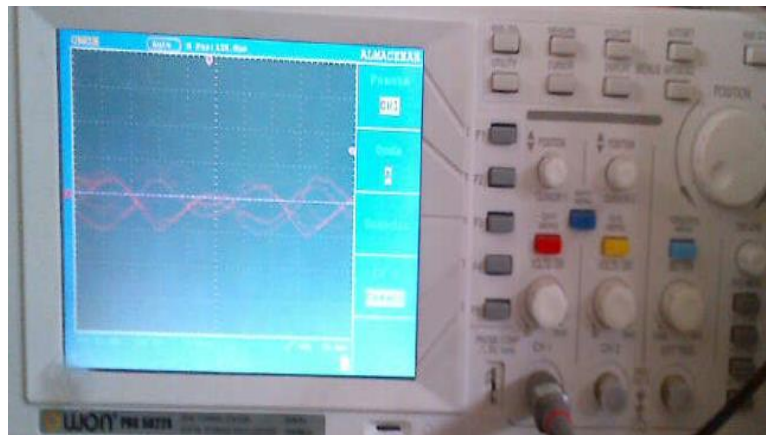


IMAGEN 7. Forma que toma la onda senoidal sin compensación con el motor encendido en vacío, el cual marca una corriente de 1 amperio.



IMAGEN 8. Forma que toma la onda senoidal sin compensación con el motor encendido con carga, el cual marca una corriente de 1.9 amperio.



IMAGEN 9.

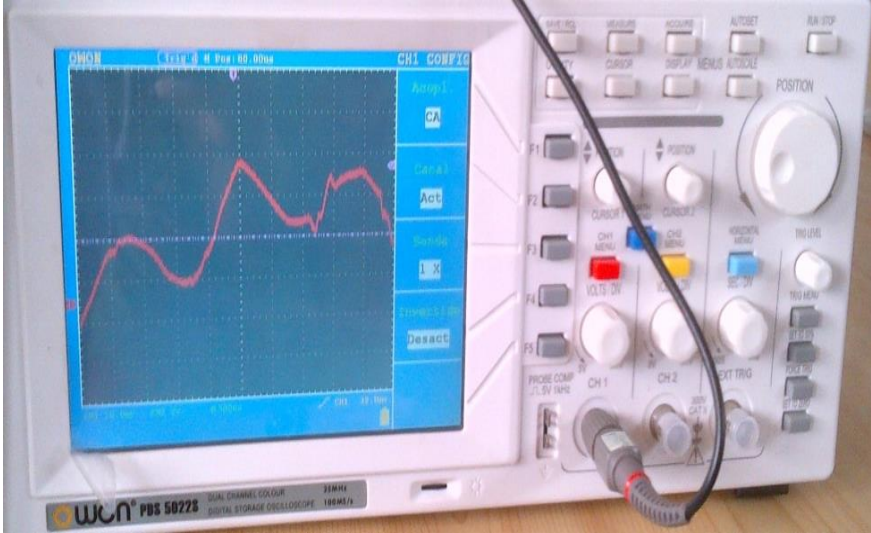


IMAGEN 10. Forma que toma la onda senoidal sin compensación con el motor encendido con carga, el cual marca una corriente de 2 amperios.



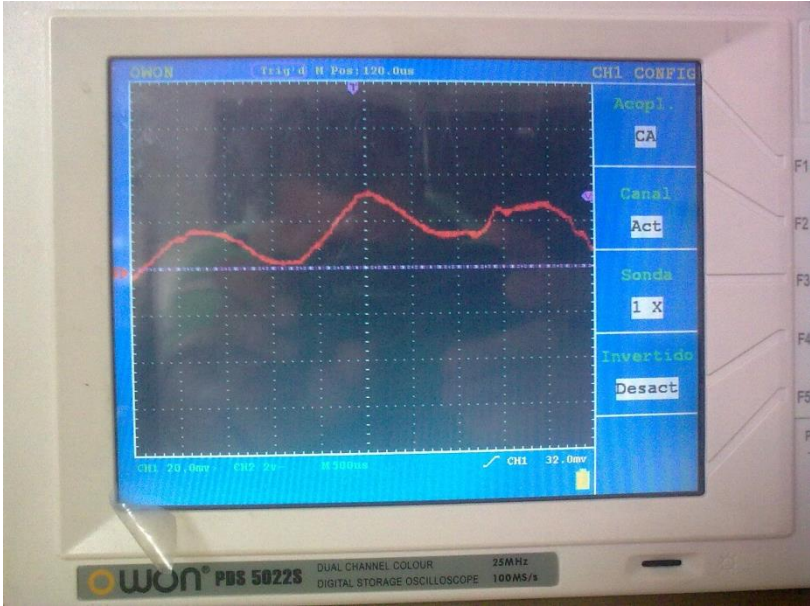
IMAGEN 11.



IMAGEN 12. Forma que toma la onda senoidal con compensación con una corrección del factor de potencia de 0.99.



IMAGEN 13



ANEXO 3

- DIAGRAMA DE CONTROL RTR**
- DIAGRAMA DE ARRANQUE DIRECTO DE FUERZA Y CONTROL DEL MOTOR**

DIAGRAMA DE CONTROL RTR

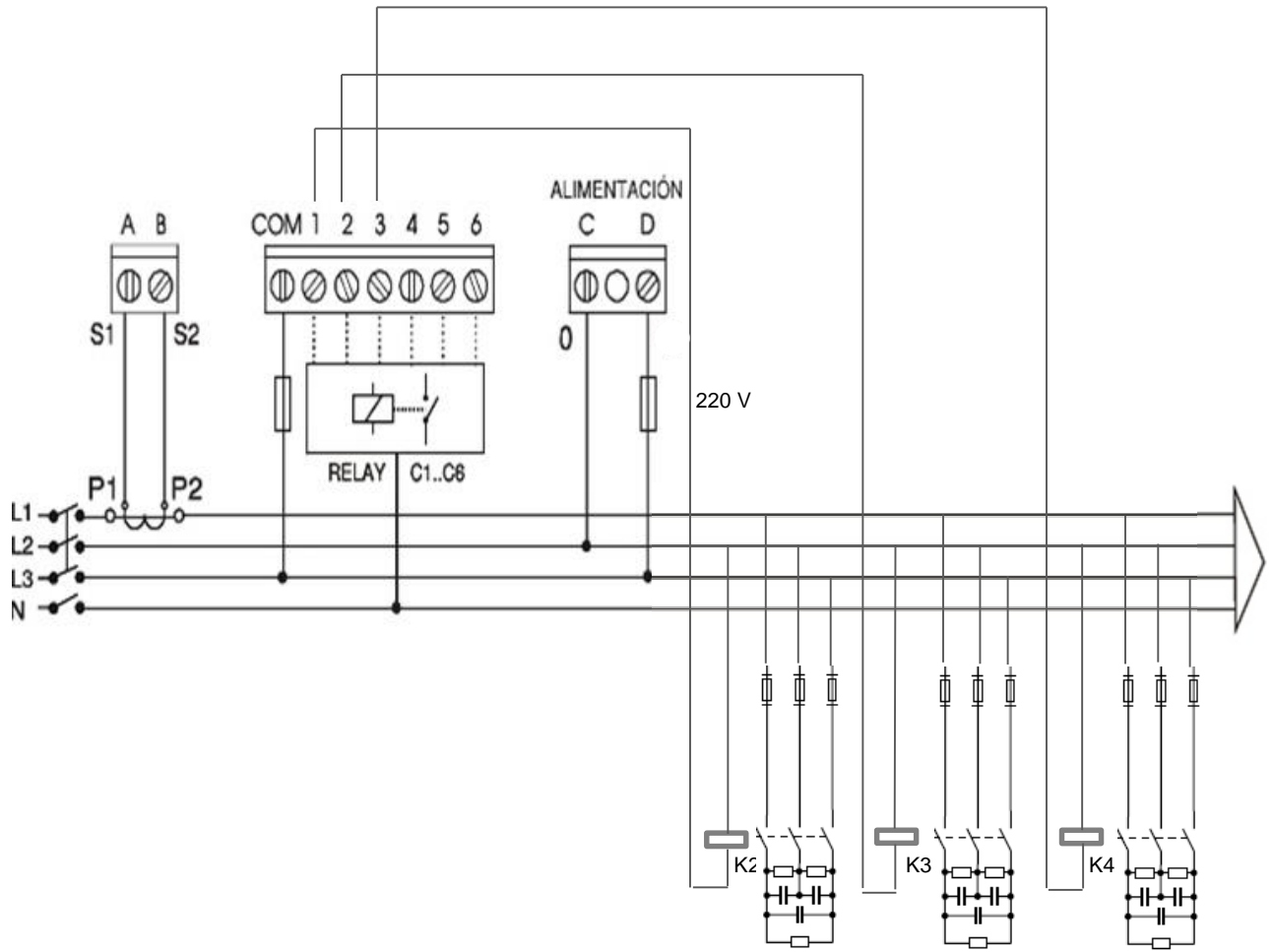
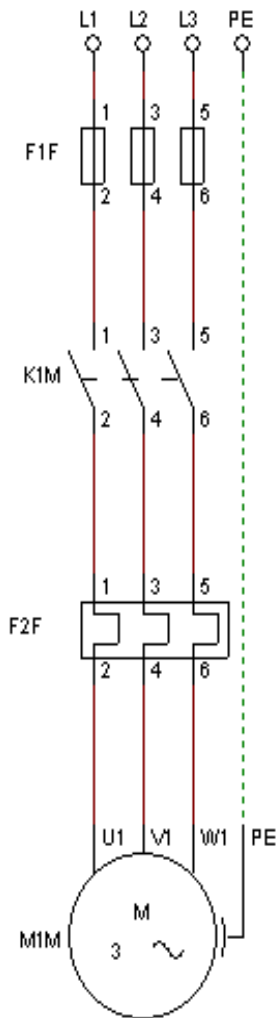


DIAGRAMA DE ARRANQUE DIRECTO DE FUERZA Y CONTROL DEL MOTOR

CIRCUITO DE FUERZA



CIRCUITO DE MANDO

